



**UFRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

# **O ACIDENTE DE BHOPAL – DISCUSSÃO DO EVENTO INICIADOR NO CONTEXTO DO RBPS**

**LEONARDO RAUL PEREIRA VELTRI**

## **Projeto Final de Curso**

**Orientador:**

**Carlos André Vaz Junior**

**Rio de Janeiro**

**Novembro de 2020**

**LEONARDO RAUL PEREIRA VELTRI**

**O ACIDENTE DE BHOPAL – DISCUSSÃO DO EVENTO  
INICIADOR NO CONTEXTO DO RBPS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Corpo docente da Escola  
de Química, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Carlos André Vaz Junior

**Rio de Janeiro**

**2020**

# **O ACIDENTE DE BHOPAL – DISCUSSÃO DO EVENTO INICIADOR NO CONTEXTO DO RBPS**

*Leonardo Raul Pereira Veltri*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Prof. Estevão Freire, D.Sc.

---

Américo Diniz Carvalho Neto, Sc.M.

Orientado por:

---

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Novembro de 2020

## **Agradecimentos**

Agradeço, com todo o meu coração, a todos que estiveram comigo nessa caminhada. Aos meus pais, só tenho a demonstrar gratidão pela família construída, pelas oportunidades concedidas, pela amizade, amor, cuidados e, em especial, educação. Vocês me criaram para o mundo, mas sem nunca deixar esquecer as raízes, o caráter e o amor pelo bem que sempre me ensinaram. Me inspiro em vocês. Espero sempre ser motivo de orgulho, assim como me orgulho dos dois e da nossa família. Soba e Leka, amo muito vocês! Obrigado por tudo!

Ao meu grande amigo, meu irmão, meu “parça”, meu muito obrigado! Desde pequeno aprendi a te admirar e, então, construímos essa relação além da irmandade. Hoje, sigo te admirando e me emocionando ao ver, em seus olhos e atitudes, sua admiração por mim. Obrigado por sempre acreditar em mim e sempre me defender. Que nossa amizade nunca se enfraqueça. Para o melhor goleiro de futsal que meus olhos já viram, meu total amor e gratidão. Não posso esquecer aquela que mais te atura. Bia, obrigado pela parceria e amizade, “tamo junto”! Amo vocês!

Ao meu único e eterno amor, é difícil encontrar palavras para agradecer por todo o companheirismo, amizade, cumplicidade, união e amor. Você sempre foi motivo de orgulho e admiração minha, foi a primeira pessoa a sempre me impulsionar e não deixar que, em hipótese alguma, eu descreditasse de mim. Você me ensinou a olhar para o mundo de outra forma, mudou minha vida, me fez e faz ter vontade de evoluir a cada dia mais para te dar orgulho e para alcançarmos nossos objetivos. Essa é só mais uma conquista das milhares que ainda viveremos juntos. Que nosso relacionamento continue sendo nossa maior fortaleza e que, juntos, possamos cada vez mais engrandecer um ao outro. Para o amor da minha vida, minha futura psicóloga e mãe dos meus filhos, meu completo agradecimento! Eu te amo infinitamente! Better Together.

A minha segunda família, meu muito obrigado! Sogra, sogro e cunhada, mesmo não acompanhando tão de perto fisicamente, saibam que a força e a energia positiva eram passadas a cada vez que estávamos juntos nos divertindo e que me perguntavam como estava a faculdade. Obrigado pela preocupação, carinho, acolhimento e tudo o que sempre fizeram por mim. Amo muito vocês!

Agradeço aos meus companheiros não humanos que estiveram juntos a mim nessa caminhada e que sempre levarei no peito. Dimba, Pingo e Imperador, mesmo distantes, nunca

esquecerei de vocês. Sheik, Chuvisco e Trovão, que continuem alegrando e cuidando da casa. Amo todos vocês!

A minha avó, madrinha e mãe de santo, meu muito obrigado! Que nossos Santinhos estejam sempre olhando por nós e guiando para os melhores caminhos. Te amo, Juja!

A minha família que nos abandonou para ir morar em Natal, meu muito obrigado por tudo! Os momentos em que estiveram aqui sempre compensaram demais a distância habitual. Sei que, mais uma vez, estão comigo nessa conquista. Amo muito vocês e, como sempre, estou com saudades.

Ao meu orientador, professor Carlos André Vaz Junior, agradeço pela disponibilidade e confiança na realização deste trabalho.

Aos meus companheiros de faculdade, meu muito obrigado! A caminhada foi longa, mas também foi leve com a parceria de vocês. Fabio, Johnny, Laf, Mateus, Rod e Thiago, estamos juntos!

## Resumo

Por muitos anos, as indústrias químicas não alocavam esforços e recursos nos principais fatores contribuintes de acidentes com o intuito de melhorar aspectos relacionados à prevenção e mitigação dos mesmos. Assim, a difusão de eficientes sistemas de segurança de processos e da sua gestão e a concessão da devida importância a eles nem sempre foi feita. Acidentes com enormes consequências tiveram que ocorrer para que, finalmente, esse cenário mudasse. Bhopal, cidade indiana e atual capital do estado de Madhya Pradesh, é o local em que se passou, em dezembro de 1984, o maior acidente da história da indústria química, aquele que foi o divisor de águas para a evolução de sistemas de segurança de processos, levando a criação das diretrizes do RBPS pelo CCPS. A proprietária e operadora da planta de Bhopal, desde o final da década de 70, era a UCIL, empresa indiana com mais da metade de suas ações controladas pela norte americana Union Carbide. O produto principal da planta era o pesticida carbaril Sevin, no qual era produzido pela reação entre metil isocianato, popularmente conhecido como MIC, e  $\alpha$ -naftol. O MIC, sintetizado pela reação entre metilamina e fosgênio, é uma substância altamente tóxica, inflamável, volátil e mais densa que o ar. Sua armazenagem na planta era em larga escala. No dia do acidente, cerca de 40 toneladas desta substância evaporaram do tanque 610 de armazenagem e foram liberadas na atmosfera. Por se tratar de um evento com consequências graves, diversas investigações ocorreram na tentativa de identificar um evento iniciador do acidente. Como unanimidade, concluiu-se que o evento iniciador para evaporação e liberação do MIC fora a entrada de água no tanque 610 que iniciou uma reação exotérmica descontrolada entre água e metil isocianato. No entanto, as investigações buscavam entender como a água chegara ao tanque. Uma das conclusões investigativas mais perpetuadas foi a de sabotagem de um ou mais funcionários da planta que, com o intuito de prejudicar a empresa, teria conectado uma mangueira de água ao tanque de armazenagem. Outra conclusão bastante perpetuada foi a de uma lavagem inadequada com água de uma seção da unidade de produção do pesticida. Entretanto, erros no sistema de gerenciamento de segurança de processos, falhas técnicas e falhas do governo foram sendo identificadas, estudadas e exploradas como precursores para o acidente. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi apresentar as principais conclusões dos investigadores e discutir, no contexto das diretrizes em segurança de processos – RBPS – criadas pelo CCPS, os eventos iniciadores do acidente. Assim, pode-se concluir que diversas falhas de gestão, por parte da empresa e do governo, foram primordiais no desenvolvimento de problemas técnicos e operacionais da planta. Como consequência, acidentes e incidentes menores se tornaram comuns nos anos anteriores a 1984 e não foram mitigados e corrigidos, permitindo que um grande desastre se desenvolvesse.

**Palavras-chave:** Sistemas de Gerenciamento de Segurança de Processos; RBPS; Bhopal; metil isocianato; acidente industrial.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1 – Síntese de Metil Isocianato a Partir de Fosgênio e Metilamina; Síntese do Pesticida Sevin a Partir do Metil Isocianato e <math>\alpha</math>-naftol.</b>	<b>15</b>
<b>Figura 2 – Reação de MIC com <math>H_2O</math>.</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3 – Reação de Trimerização do MIC.</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4 – Área Próxima à Planta de Bhopal.</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5 – Sistema de Armazenamento de MIC.</b>	<b>20</b>
<b>Figura 6 – Modelo de Slip Blind.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7 – Tubulações da área de Lavagem.</b>	<b>22</b>
<b>Figura 8 – RVVH e Bleeder Valves.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 9 – Sistema de Tubulações PVH e RVVH.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 10 – Tubulações Próximas ao Tanque 610.</b>	<b>26</b>
<b>Figura 11 – Detalhamento do Tanque de Armazenagem.</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12 – Rota Alternativa de Síntese do Sevin.</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13 – Sistema de Tratamento de Gases com Vent Gas Scrubber e Torre de Flare.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14 – Os Principais Sistemas de Prevenção e Mitigação de Incidentes e Acidentes.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 15 – Exemplo de Matriz Tridimensional de Competência.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 16 – Exemplo de Gráfico ALARP.</b>	<b>61</b>

## **Lista de Tabelas**

<b>Tabela 1 - 20 Elementos do RBPS.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 2 – Parâmetros, palavras-guia e desvios.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 3 – Exemplo de planilha para HAZOP.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabela 4 – Matriz de Risco.....</b>	<b>60</b>



## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

AIChE	American Institute of Chemical Engineers
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
CBI	Indian Central Bureau of Investigation
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono – Gás Carbônico
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H <sub>2</sub> O	Água
HAZOP	Hazard and Operability Study
HIRA	Hazard Identification and Risk Assessment
IPL	Independent Protection Layer
ITPM	Inspection, Testing and Preventive Maintenance
LOPA	Layer of Protection Analysis
MIC	Methyl Isocyanate
MOC	Management of Change
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PVH	Process Vent Header
RBPS	Risk Based Process Safety
RVVH	Relief Valve Vent Header
TLV – TWA	Threshold Limit Value – Time Weight Average
UCC	Union Carbide Corporation

UCIL            Union Carbide India Limited

VGS            Vent Gas Scrubber

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. Segurança de Processos nas Indústrias Químicas .....	13
1.2. A Cidade e a Planta de Bhopal .....	14
1.3. O Acidente .....	16
1.4. Objetivo .....	16
<b>2. DESCRIÇÃO DOS FATOS .....</b>	<b>17</b>
2.1. Características e Atividades Químicas na Planta de Bhopal .....	17
2.2. As Investigações .....	18
2.2.1 Investigação da União Carbide .....	21
2.2.2 Investigações Externas .....	27
2.3. Ordem Cronológica dos Fatos .....	38
2.3.1 Ótica da Union Carbide .....	39
2.3.2 Ótica dos Investigadores Externos .....	40
<b>3. DISCUSSÃO DO ACIDENTE NO CONTEXTO DO RBPS.....</b>	<b>43</b>
3.1. A Influência de Bhopal nos Sistemas de Gestão .....	43
3.2. A Estrutura RBPS e as Falhas em Bhopal.....	44
3.3. Comprometimento com Segurança de Processo – 1º Pilar .....	47
3.3.1 Cultura de Segurança de Processo .....	48
3.3.2 Conformidade com Padrões e Normas .....	49
3.3.3 Competência em Segurança de Processo .....	50
3.3.4 Envolvimento da Força de Trabalho.....	54
3.3.5 Envolvimento dos Stakeholders .....	55
3.4. Compreender Perigos e Riscos – 2º Pilar .....	57
3.4.1 Gestão do Conhecimento de Processo .....	57
3.4.2 Identificação de Perigos e Análises de Risco .....	58
3.5. Gerenciar Riscos – 3º Pilar .....	63
3.5.1 Procedimentos Operacionais .....	64
3.5.2 Práticas de Trabalho Seguro.....	65
3.5.3 Integridade de Ativos e Confiabilidade .....	67
3.5.4 Gestão de Contratados.....	68
3.5.5 Treinamento e Garantia de Desempenho.....	69
3.5.6 Gerenciamento de Mudanças .....	70
3.5.7 Prontidão Operacional .....	72

3.5.8	Condução de Operações.....	73
3.5.9	Gerenciamento de Emergências .....	74
3.6.	Aprender com a Experiência – 4º Pilar.....	75
3.6.1	Investigação de Acidentes e Incidentes .....	76
3.6.2	Indicadores e Monitoramento .....	77
3.6.3	Auditorias .....	79
3.6.4	Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua .....	80
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>
	Anexo I – Especificações Metil Isocianato – CAMEO Chemicals .....	88

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Segurança de Processos nas Indústrias Químicas**

Hoje em dia, o gerenciamento da segurança de processos é de suma importância para a redução dos riscos de acidentes inerentes aos diversos processos químicos existentes nas indústrias. Além da redução dos riscos, a gestão eficiente de segurança de processos agrega bastante a uma indústria, de modo que proporciona um aumento da performance de seus processos, uma vez que estes passam a estar em constante acompanhamento e com uma busca contínua por melhoria. Dessa forma, a segurança de processos e sua gestão mostram sua forte relação com a gestão da qualidade.

Para que essa gestão eficiente fosse cada vez mais realidade dentro das indústrias, sistemas de gerenciamento foram desenvolvidos e aprimorados, a partir de meados da década de 1980. Isso vem permitindo que empresas implementem estes sistemas e alcancem os resultados desejados referentes à redução de acidentes e à melhoria de desempenho dos processos realizados nas suas plantas.

Um dos principais focos dos atuais sistemas de gestão é estudar os fatores contribuintes dos acidentes para saber como prevenir e/ou reduzir seus riscos. Em geral, os acidentes em indústrias químicas ocorrem por um ou mais dos motivos a seguir: (CCPS, 2014)

- Falhas Tecnológicas;
- Falhas Humanas;
- Falhas no Sistema de Gestão;
- Fenômenos Naturais e Circunstâncias Externas.

Por muitos anos, as empresas detentoras de indústrias químicas não alocavam seus esforços e recursos nos fatores contribuintes de acidentes com o intuito de melhorar aspectos relacionados à prevenção dos mesmos. Assim, a difusão desses sistemas de gestão e a concessão da devida importância a eles nem sempre foi feita. Acidentes com enormes consequências tiveram que ocorrer para que, finalmente, esse cenário mudasse, de modo que falhas no sistema de gestão, ou a não existência dele, começaram a ser identificadas e avaliadas como eventos iniciadores desses acidentes. (CCPS, 2014)

Um destes acidentes que impulsionou o estudo, a implementação e a difusão de eficazes e eficientes sistemas de gestão de processos foi o acidente químico que ocorreu na cidade indiana de Bhopal na madrugada de 03 de dezembro de 1984.

## **1.2. A Cidade e a Planta de Bhopal**

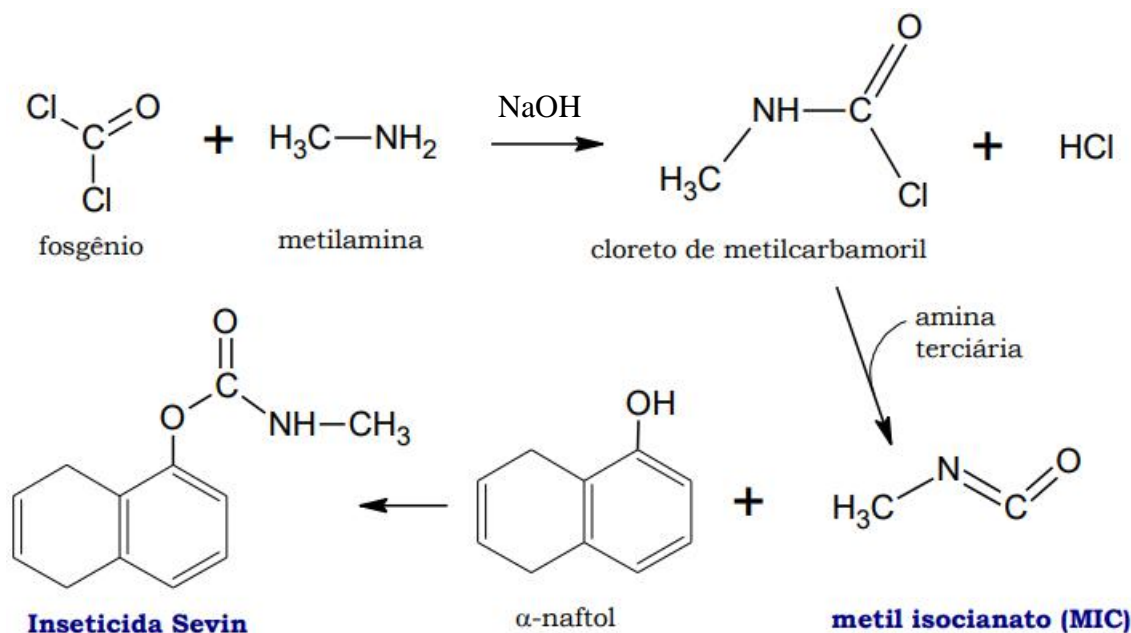
Bhopal é uma cidade da Índia, atualmente, capital do estado de Madhya Pradesh e sede administrativa do distrito de Bhopal. Com uma área de planejamento expandida de 463 km<sup>2</sup>, Bhopal fica entre as quinze maiores cidades da Índia, atualmente. Apesar de ser uma região central da país, com fácil acesso a outras cidades indianas, hoje em dia, esta não é uma cidade notada pela contribuição socioeconômica para o desenvolvimento da Índia. (BHOPAL MUNICIPAL CORPORATION, 2020)

O que mais contribuiu para que Bhopal fosse conhecida mundialmente foi o grande desastre que ocorreu na década de 80 em uma planta industrial que lá estava promovendo um desenvolvimento socioeconômico da cidade e um aumento da população local. Desse modo, o impacto da tragédia foi imensurável, sendo considerada a maior da indústria química.

Em relação à planta de Bhopal, a proprietária e operadora desde o final da década de 70 era a Union Carbide India Limited (UCIL). Essa era uma empresa indiana na qual Union Carbide Corporation (UCC), empresa americana, detinha pouco mais da metade das suas ações, enquanto que o restante era dividido entre instituições financeiras indianas e investidores privados. O projeto, a engenharia e a construção da planta de Bhopal foram de execução da UCIL do início ao fim e levaram oito anos para serem concluídos (1972-1980). O projeto envolveu centenas de engenheiros e designers indianos da UCIL e das principais empresas de engenharia indianas e milhares de trabalhadores da construção civil indianos. A planta iniciou suas operações em 1978, produzindo o pesticida denominado Sevin. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019)

O composto químico responsável pela ação pesticida deste produto é o 1-naftil-N-metilcarbamato, popularmente conhecido como carbaril. A reação mais comum e utilizada na planta de Bhopal para produção deste pesticida carbaril envolve dois reagentes – metil isocianato (MIC) e  $\alpha$ -naftol. Esta rota reacional está representada a seguir (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

**Figura 1 – Síntese de Metil Isocianato a Partir de Fosgênio e Metilamina; Síntese do Pesticida Sevin a Partir do Metil Isocianato e  $\alpha$ -naftol.**



Fonte: Química Virtual, 2010.

Como visto, o MIC é usualmente sintetizado a partir de metilamina e fosgênio. E, somente em seguida, esse intermediário reage com  $\alpha$ -naftol para formar o inseticida que foi introduzido no mercado em 1958. (HOCK, 1982)

Em relação à toxicidade do metil isocianato, a exposição máxima a esse gás (TLV-TWA) em um período de oito horas é de 0,02 ppm – 20 partes por bilhão. Como comparação, o fosgênio, composto altamente tóxico, possui um TLV-TWA de 0,1 ppm – 100 partes por bilhão. Além da toxicidade, o MIC é um composto altamente inflamável e volátil – ponto de ebulição de 39,1°C e pressão de vapor de 38 mmHg a 20°C. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

A região, além de fornecer benefícios à empresa, como mão de obra barata para uma produção lucrativa, em princípio, foi favorecida no setor de agricultura devido à proximidade de áreas rurais com a planta produtora do pesticida. Assim, a tendência era que as carências alimentares da população indiana, e de regiões próximas, fossem supridas cada vez mais, uma vez que o pesticida Sevin prometia um aumento na produtividade de alimentos. Pelo menos, era assim que a instituição americana apresentava seu produto para a população indiana. Vale destacar que, até 1979, ambos os principais reagentes químicos para a produção do pesticida eram importados. Apenas neste ano que a planta de Bhopal passou a ter unidades próprias de produção desses químicos. (BOWONDER, 1987)

### 1.3. O Acidente

O desastre ocorreu na madrugada do dia 03 de dezembro de 1984 quando teve um vazamento de um tanque da planta, liberando e formando uma nuvem do gás tóxico metil isocianato – MIC – que se espalhou por toda a cidade de Bhopal. De acordo com dados fornecidos pelo governo de Madhya Pradesh, cerca de 5200 pessoas morreram e mais de 11000 foram lesadas, adquirindo doenças permanentes ou parciais. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019)

No entanto, nenhuma instituição tem o dado exato do impacto das mortes que aconteceram. Assim, de acordo com o documentário da BBC “One Night in Bhopal”, produzido em 2004, há estimativas que consideram que o número de mortes causadas diretamente pelo contato com o metil isocianato ficou entre 8 e 10 mil pessoas, além de um total de 500 mil pessoas expostas ao gás. Além disso, vinte anos depois, a maioria dos sobreviventes da tragédia possuía perda parcial de visão, perda de memória, paralisia em alguma parte do corpo e sistema imunológico mais frágil. Quanto às crianças que nasciam ao longo dos anos, foi constatado que elas possuíam ou tinham uma tendência maior a possuírem problemas genéticos, evidenciando ainda mais o impacto ocasionado pelo maior acidente da história da indústria química.

Quanto ao vazamento de gás, foi observado a formação de uma Pluma tendo o MIC como seu principal componente. Além do MIC, a Pluma continha uma mistura de substâncias, tais como: fosgênio, CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>. Dessa forma, sua densidade era maior que a do ar atmosférico – cerca de 2 vezes maior. Assim, o oxigênio fora expulso das partes mais próximas ao solo, tornando a ação do gás tóxico mais rápida sobre a população. Anos após o vazamento, a Union Carbide selou um acordo com o governo indiano no qual a empresa teve de desembolsar 470 milhões de dólares mais algumas outras considerações. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

### 1.4. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo apresentar as principais conclusões alcançadas por investigadores e discutir, no contexto das diretrizes em segurança de processos – *Risk Based Process Safety* – criadas pelo CCPS – *Center for Chemical Process Safety* – sobre aquele que é considerado o maior desastre da indústria química.



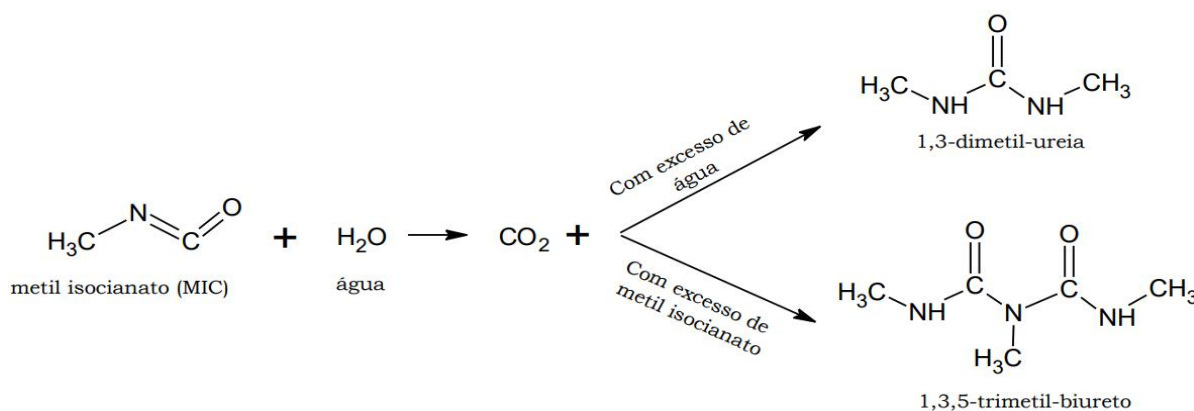
## 2. DESCRIÇÃO DOS FATOS

Primeiramente, para uma melhor descrição dos fatos, é fundamental o entendimento e a descrição das características e aspectos relacionados a atividades e produtos químicos que foram preponderantes para o acidente.

### 2.1. Características e Atividades Químicas na Planta de Bhopal

Quanto ao produto químico principal envolvido nesse acidente, pode-se dizer que o metil isocianato é um líquido estável quando resfriado e mantido em temperaturas mais baixas, porém se torna extremamente perigoso quando aquecido, principalmente quando em contato com água. (CAMEO CHEMICALS, 1999) Assim, o que causara o vazamento de MIC pelo sistema de válvula de alívio presente na planta, levando a sua liberação para a atmosfera, foi a introdução de água no tanque 610, que armazenava cerca de 40 toneladas deste intermediário químico. (BOWONDER, 1987) As reações desencadeadas pela entrada de água em um dos tanques de metil isocianato são demonstradas a seguir pelas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Reação de MIC com H<sub>2</sub>O.



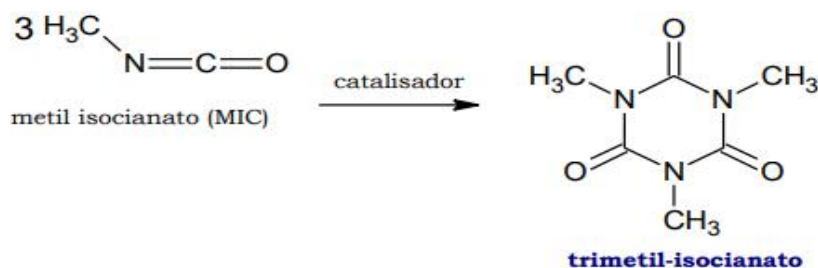
Fonte: Química Virtual, 2010.

Inicialmente, houve a reação exotérmica entre o MIC e a água, onde um dos produtos da reação foi o dióxido de carbono, além dos cerca de 1256,04 kJ liberados por kg de MIC reagido. (CAMEO CHEMICALS, 1999) Dessa forma, pelo princípio de Le Chatelier, se formou um ciclo auto consistente, pois quanto mais calor era gerado, mais rápida a reação ficava e, quanto mais rápida ficava a reação, mais calor era liberado.

Com o aquecimento e elevação da temperatura do tanque, uma reação secundária de trimerização de MIC também aconteceu – representada na Figura 3 – gerando uma molécula estável, conhecida como trimetil-isocianato, e ainda mais calor, intensificando mais ainda a

reação entre o MIC e a água e vaporizando o intermediário líquido ainda presente, transformando um líquido estável em um gás de alta periculosidade. (QUÍMICA VIRTUAL, 2010)

**Figura 3 – Reação de Trimerização do MIC.**



Fonte: Química Virtual, 2010.

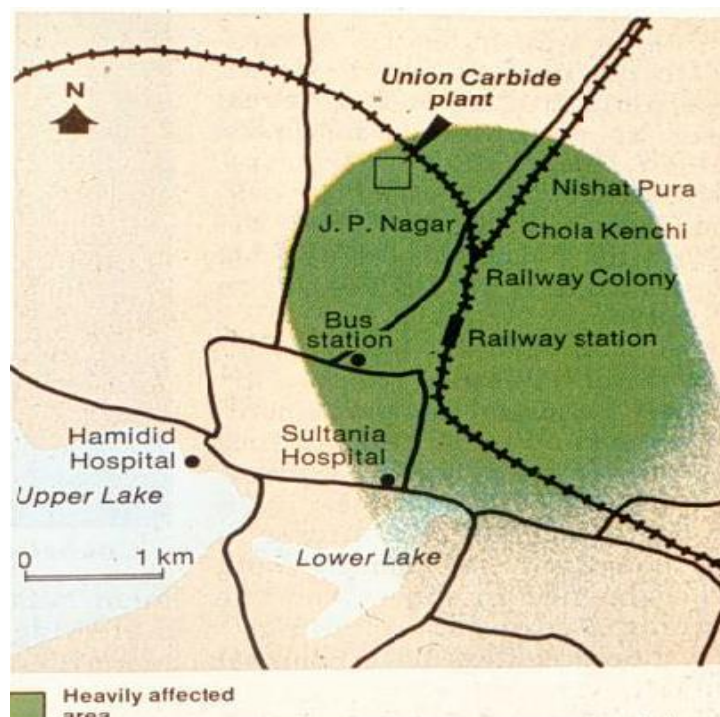
Como visto na Figura 2, essa reação produz dióxido de carbono que, junto ao vapor de MIC formado devido à alta temperatura do meio reacional, aumentou significativamente a pressão do ambiente, rompendo a válvula do tanque e liberando o metil isocianato vaporizado para as tubulações. Essa sequência foi facilmente concluída pelas equipes de investigadores no caso, porém, o que mais demandou pesquisas, entrevistas, estudos e gerou controvérsias foi a tentativa de descoberta do real motivo da entrada de água no tanque de armazenagem. (KALELKAR, 1988)

## 2.2. As Investigações

Por se tratar de um gravíssimo acidente que gerou um grande impacto nas vidas das pessoas e no meio ambiente ao seu redor, a repercussão foi enorme. Com isso, diversos grupos de investigadores e até jornalistas buscaram o real fator contribuinte do acidente. Inicialmente, vale destacar que esse enorme impacto ocorreu muito devido ao fato de, desde que a planta foi inaugurada, em 1978, a área no seu entorno fora densamente povoada em terras de propriedade de autoridades locais. (KALELKAR, 1988)

Isso se deveu ao fato de a população querer estar perto daqueles que estavam trazendo uma melhor qualidade de vida ao povo indiano e, além disso, a fábrica era considerada uma potencial fonte de geração de empregos para os moradores locais. Assim, estes moradores próximos foram as primeiras e principais vítimas do gás tóxico. A Figura 4 representa a proximidade da planta com as áreas urbanas, mostrando, em verde, aquelas regiões que mais foram afetadas.

**Figura 4 – Área Próxima à Planta de Bhopal.**

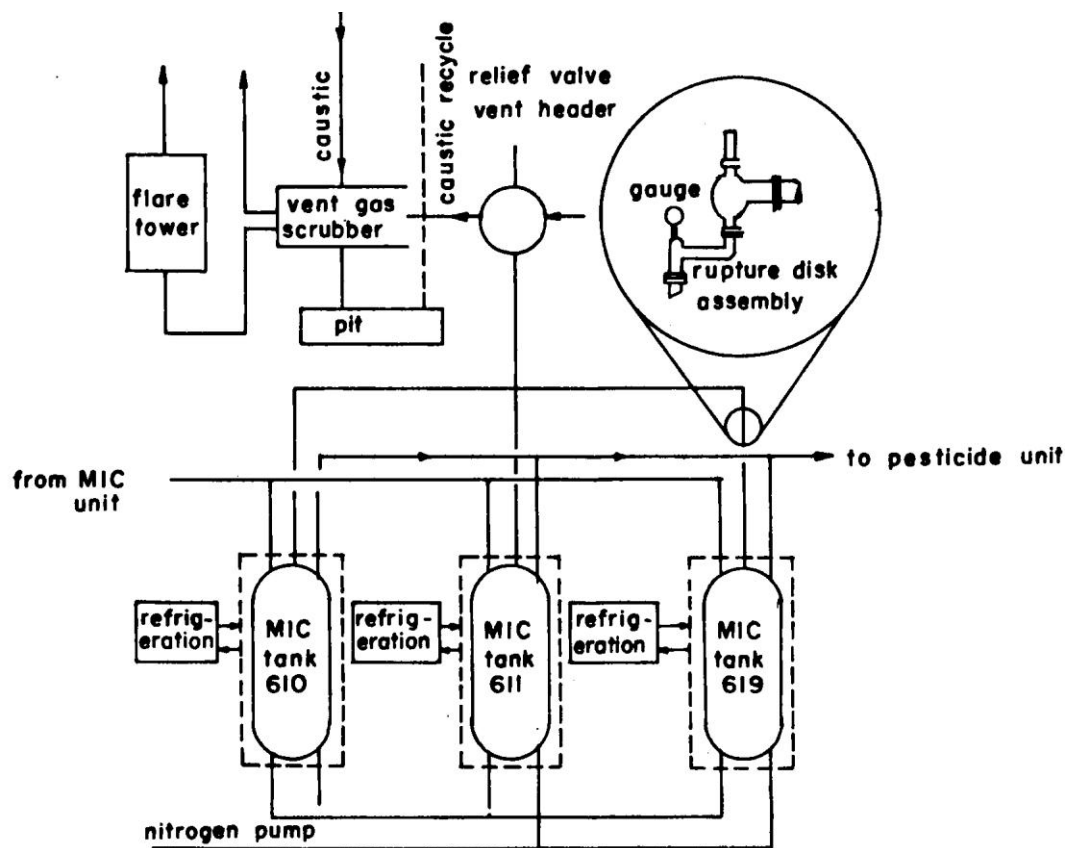


Fonte: Willey; Hendershot; Berger; 2006.

Um time de investigadores da UCC chegou ao local do acidente poucos dias depois. Entretanto, foram incapacitados de iniciar a investigação pois o CBI (*Indian Central Bureau of Investigation*) havia assumido o controle das investigações. Assim, a planta estava fechada, os registros estavam sob posse do CBI e os funcionários que haviam trabalhado na noite do desastre estavam proibidos de dar entrevistas. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019)

A única informação liberada era a de que a unidade produtora de MIC havia sido fechada seis semanas antes do acidente e o tanque de onde o gás vazou – tanque 610 representado na Figura 5 – também fora isolado, na época. (BROWNING, 1993) Essas ações da empresa ocorreram pois a planta de Bhopal não estava gerando lucros, uma vez que a demanda de pesticidas carbaril tinha reduzido significativamente em relação a anos anteriores. A causa dessa redução pode ser credenciada à importação de novos produtos, como os piretróides, inseticidas sintéticos. Assim, já havia muito metil isocianato produzido para pouca demanda de Sevin, interrompendo a produção deste intermediário e utilizando seu estoque de acordo com a necessidade e demanda de produzir mais pesticida. (BOWONDER, 1987)

Figura 5 – Sistema de Armazenamento de MIC.



Fonte: Bowonder, 1987.

Dessa maneira, a busca incessante por respostas rápidas, de fáceis entendimento e explicação, por parte dos jornalistas, fez com que, inicialmente, surgisse a teoria de que o acidente acontecera devido a uma falha na inserção de um *slip-blind* – representado na Figura 6 – durante a lavagem com água de uma *sub-header* da seção da RVVH (*Relief Valve Vent Header*). Isto teria feito a água retornar ao coletor e, através de tubulações próximas aos tanques, alcançar a PVH (*Process Vent Header*). Assim, a água teria percorrido mais de 120 metros de tubulação desde a área de lavagem e enfim entrado no tanque 610, iniciando uma reação entre o MIC e a água, aumentando a pressão do tanque e liberando o gás para a atmosfera. (KALELKAR, 1988)

**Figura 6 – Modelo de Slip Blind.**



Fonte: The Metals Factory, 2020.

Essa teoria surgiu após um relatório com informações sobre uma lavagem inadequada com água de um duto na estrutura de produção do metil isocianato ter começado a circular dias após o acidente. Esses relatos foram suficientes para sustentarem a teoria liberada pela mídia pois, na visão dos jornalistas que buscavam informações privilegiadas e soluções rápidas, o fato de uma lavagem inapropriada ter acontecido é o fato simples, entendível e fácil de disseminar como o causador do acidente. (BROWNING, 1993)

No entanto, investigações mais profundas foram realizadas para o melhor entendimento do evento iniciador da tragédia.

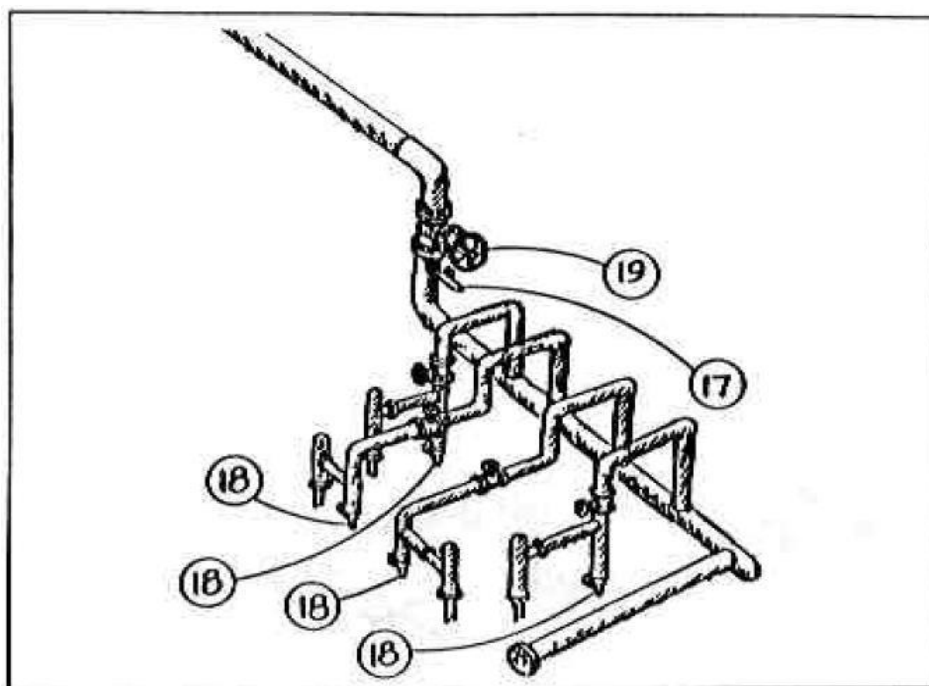
### **2.2.1 Investigação da União Carbide**

Pouco mais de um ano após o acidente, a UCC teve acesso liberado à fábrica, às evidências e às testemunhas presentes no dia do vazamento. Assim, a equipe de investigadores da empresa pode concluir que havia ao menos três evidências independentes que refutava toda a “teoria da lavagem de água”. (UNION CARBIDE CORPORATION, 2019)

A primeira evidência está relacionada às quatro válvulas de sangramento (*bleeder valves*) em paralelo associadas aos filtros presentes próximos à área de lavagem – representadas pelo número 18 na Figura 7. Inicialmente, a água teria que percorrer o caminho de onde ela era introduzida até o topo da PVH. Para isso, foi considerado que todas as válvulas presentes no caminho entre o ponto de introdução de água e o topo da PVH estavam abertas. Assim, além do caminho horizontal, a água teria que estar sob pressão alta o suficiente no seu ponto de introdução para que conseguisse subir cerca de 3,2 metros e alcançar a altura do topo da PVH. (KALELKAR, 1988)

Das quatro válvulas de sangramento citadas, foi constatado, por meio das entrevistas, que uma delas estava mecanicamente fechada, mas que as outras três estavam abertas e, conseqüentemente, drenando o excesso de água e ar. Como a mangueira usada para lavagem possuía diâmetro de 1/2 polegada, investigadores concluíram que a vazão de entrada de água no processo era de, no máximo, 57 litros/minuto. Com essa vazão e com três das quatro válvulas de sangramento funcionando e estando abertas, a equipe constatou que essas condições limitariam a pressão do meio, de modo que a água conseguiria subir, no máximo, 0,2 dos 3,2 metros necessários. (KALELKAR, 1988)

**Figura 7 – Tubulações da área de Lavagem.**

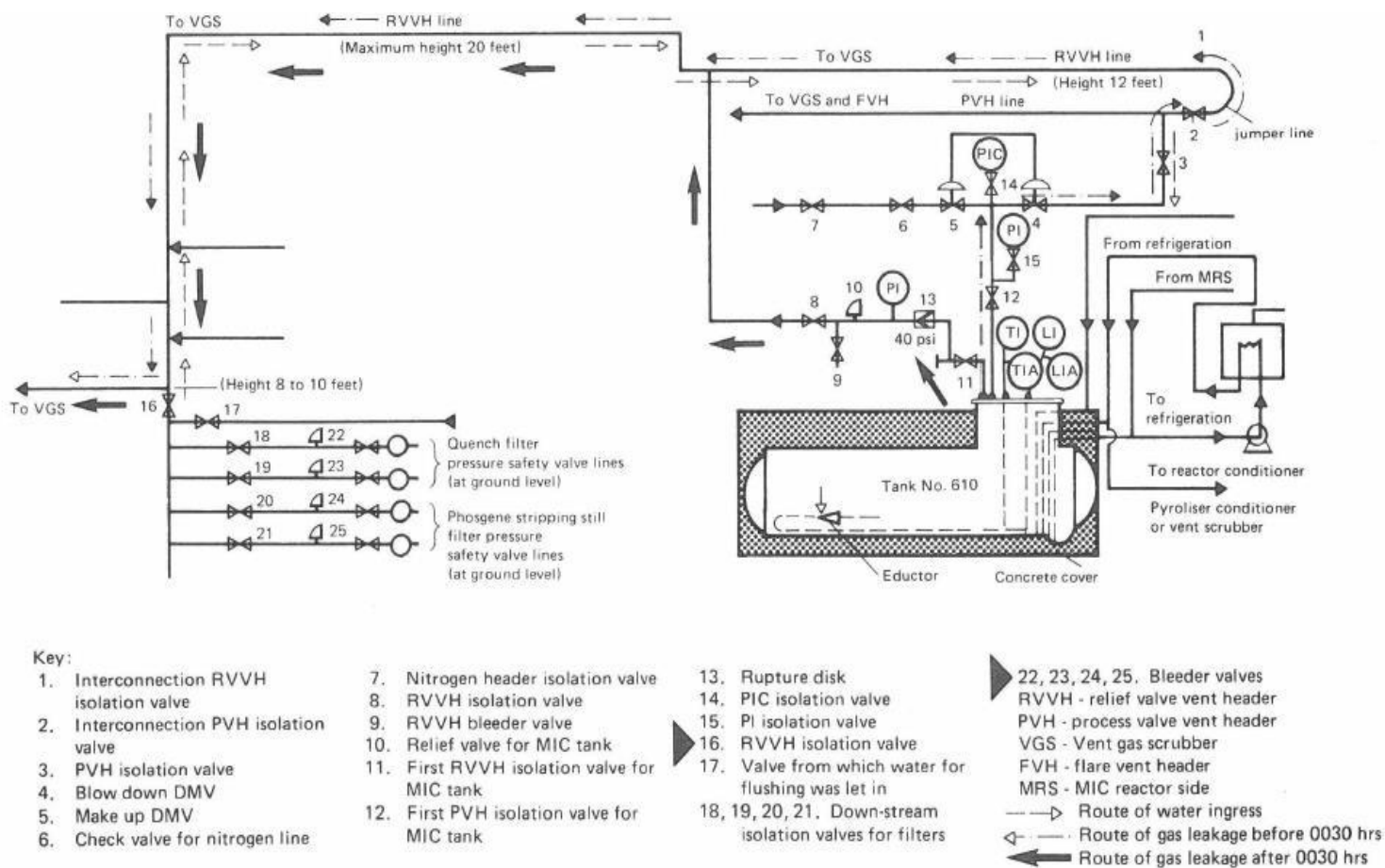


Fonte: Kalelkar, 1988.

A segunda evidência é relativa a uma das válvulas presentes no caminho entre o ponto de lavagem e o tanque onde ocorreu o vazamento. Desse modo, se constatado que alguma dessas válvulas estava fechada, a “teoria da lavagem de água” estaria sendo mais uma vez contrariada. E foi justamente o que aconteceu com uma válvula próxima ao ponto de lavagem – representada pelo número 16 na Figura 8 – que conectava o local de lavagem com a RRVH.

Como a água precisava passar pela RRVH antes de alcançar a PVH e então chegar ao tanque 610, era impossível isso acontecer com essa válvula fechada e sem vazamento. A investigação baseou sua teoria no relatório da manutenção onde afirmava que a válvula estava fechada desde 29 de novembro de 1984. Além disso, em 1985 a integridade e o funcionamento dessa válvula foi testada pela equipe da Union Carbide em uma operação de lavagem com água, sendo constatado que não houve vazamento do líquido e, conseqüentemente, nenhuma quantidade de água alcançou a RRVH. (KALELKAR, 1988)

**Figura 8 – RRVH e Bleeder Valves.**

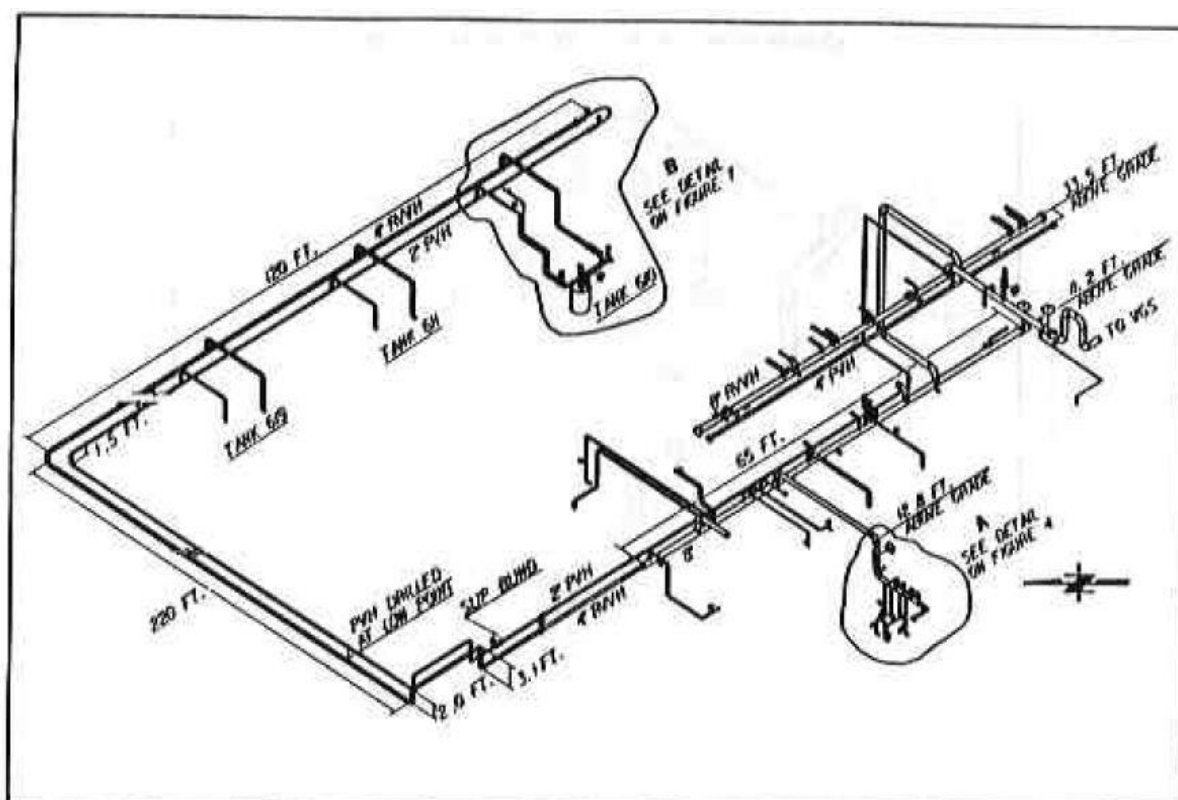


Fonte: Ayres, 1987.



A terceira evidência é referente à quantidade de água presente nos mais de 120 metros de tubulação existente entre a área de lavagem e o tanque 610. Para que a “teoria da lavagem de água” fosse verídica, era necessário que toda essa tubulação fosse completamente preenchida com água antes que a mesma alcançasse o tanque 610. Dessa forma, a tubulação de 65 pés de comprimento e 8 polegadas de diâmetro da RVVH e a de 340 pés de comprimento e 2 polegadas de diâmetro da PVH, como visto na Figura 9, deveria ter sido preenchida com, aproximadamente, 20,4 m<sup>3</sup> de água. De acordo com a empresa, após o desastre, uma grande quantidade de água ainda deveria estar presente nas tubulações. Entretanto, isso não foi constatado. (KALELKAR, 1988)

**Figura 9 – Sistema de Tubulações PVH e RVVH.**



Fonte: Kalelkar, 1988.

É sabido que, a medida que gases eram liberados do tanque 610, esses gases teriam eliminado a água das tubulações da RVVH para fora do lavador de gás. Todavia, como a conexão entre a PVH e o lavador de gás havia sido fechada para manutenção e houve a substituição de algumas seções da PVH, os 220 pés de tubulação e suas ramificações da PVH deveriam estar preenchidas com água. Assim, para investigar essa existência ou não de água, as ramificações foram drenadas, furando a tubulação de 220 pés em seu ponto mais baixo, obtendo-se apenas pequena quantidade de água remanescente. (KALELKAR, 1988)



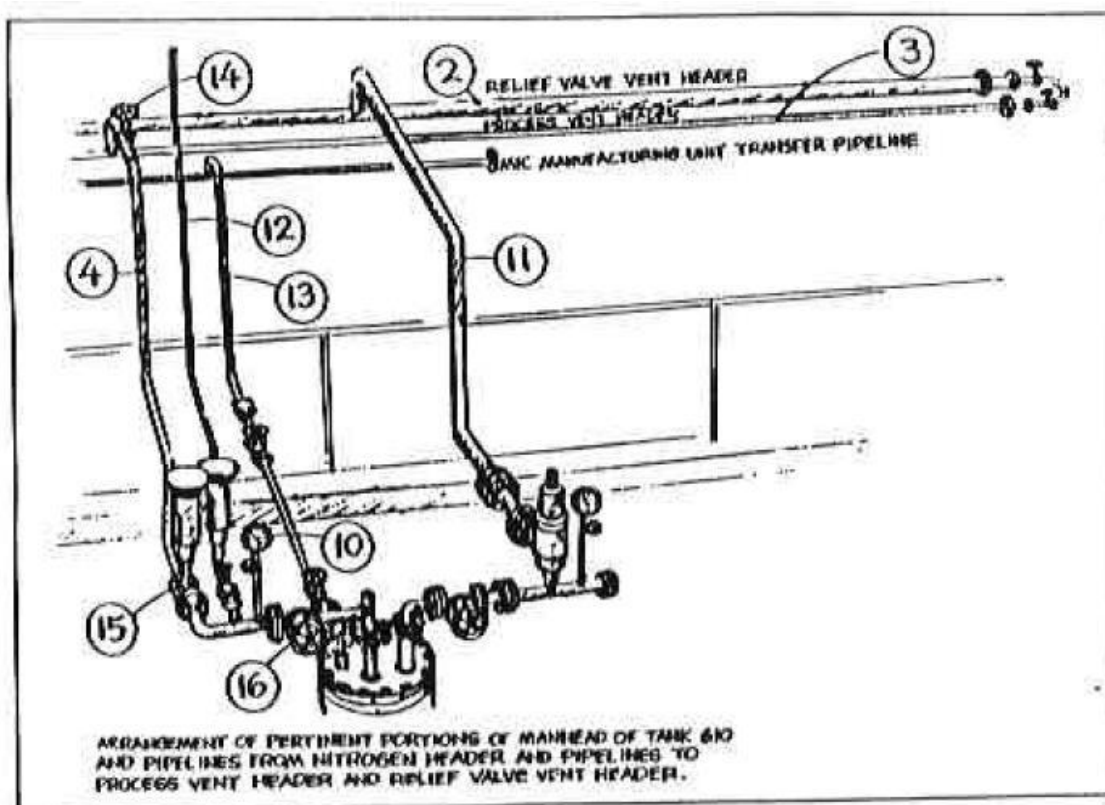
Desse modo, a “teoria da lavagem de água” havia sido completamente descredenciada pelos investigadores da Union Carbide. Assim, sob posse dos relatórios da planta e após diversas entrevistas com testemunhas e trabalhadores que estavam presentes no fatídico dia, a equipe de investigadores pode perceber contradições, distorções e omissões ao longo das entrevistas.

Dentre as contradições e tentativas de omitir alguns acontecimentos dos relatórios, foram encontradas páginas arrancadas ou parcialmente rasgadas, sendo primordiais para a descrição do que acontecera naquele dia. Além da falta de algumas folhas de relatório, no verso de uma página foi encontrado um esboço de uma mangueira conectada a um instrumento de um tanque. Investigadores entenderam esse esboço como uma forma de os operários tentarem explicar como a entrada de água no tanque havia acontecido. Assim, os investigadores concluíram que uma conexão de água direta ao tanque 610 havia sido encontrada pelos trabalhadores, porém, fora encoberta pelos mesmos como uma tentativa de se protegerem. (KALELKAR, 1988)

Dessa forma, a Union Carbide acredita que essa conexão direta de água via mangueira tenha sido adicionada durante a troca de turno a noite, porém, não encontraram nenhuma evidência concreta que confirmasse. O motivo para essa teoria ter sido criada se deve a uma entrevista com um supervisor de instrumentos que não estava de serviço naquela madrugada.

O supervisor revelou que, ao chegar na planta na manhã seguinte ao acidente e verificar os instrumentos no tanque, notou que o indicador de pressão local do tanque 610 não estava lá. Este instrumento – representado pelo número 10 na Figura 10 – fica localizado no topo do tanque, sendo considerado um possível lugar para a conexão de uma mangueira de água. Conforme relatórios encontrados, a válvula representada pelo número 16 na Figura 10 estava fechada antes do acidente. De acordo com a UCC, o tanque mantinha um vácuo intenso após ter resfriado ao fim do vazamento, permitindo que a equipe de investigadores concluísse que esta válvula fora temporariamente aberta para que água fosse inserida no tanque. (KALELKAR, 1988)

Figura 10 – Tubulações Próximas ao Tanque 610.



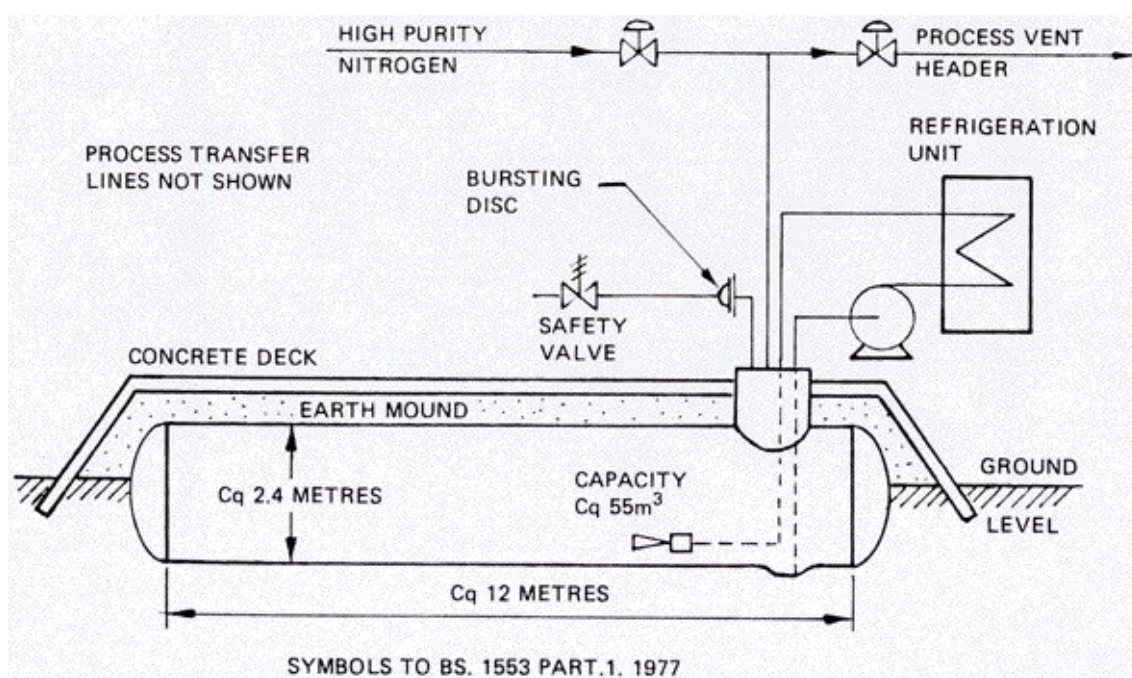
Fonte: Kalelkar, 1988.

Em adição a essa revelação de um supervisor, os investigadores da UCC levaram em consideração que menores incidentes causados por sabotagem dos operadores já haviam acontecido na planta de Bhopal previamente àquela noite, além de ser algo, de certo modo, recorrente em plantas industriais pelo mundo. De acordo com as entrevistas, os investigadores puderam concluir que os trabalhadores souberam do vazamento inicial de metil isocianato antes do vazamento catastrófico, uma vez que sentiram o cheiro e, na tentativa de aliviar a pressão do tanque 610 e constatar a existência de água nele, realizaram uma descarga de uma tonelada para o compartimento conectado à unidade de produção. Ademais, fixaram uma mangueira para expulsar ar na direção contrária ao vazamento e, após isso, tiraram o problema de foco pois acreditavam que o mesmo já estava solucionado. (KALELKAR, 1988)

Sendo assim, com o cenário de tragédia já instalado, operadores da planta, na manhã seguinte, começaram a alterar os registros e relatórios do dia anterior para que não fosse descoberto que eles souberam do vazamento inicial e não conseguiram o conter, desconectando qualquer funcionário da tragédia. Além disso, havia o medo, por parte dos operadores, que a descarga de uma tonelada tivesse intensificado o vazamento, sendo mais um motivo para encobrir essa informação. (KALELKAR, 1988)

Como visto na Figura 11, os três tanques de armazenamento do gás possuíam uma tubulação que conectava os tanques a um lavador de gás e, posteriormente, a uma torre de *flare*. Anteriormente a esses dois componentes, havia um sistema de resfriamento nos tanques para conter possíveis aumentos excessivos de temperatura. Desse modo, outras investigações não concordam e aceitam as respostas obtidas pela investigação da própria Union Carbide. Assim, apontam uma suposta negligência da empresa com os processos de segurança e manutenção da planta e o seu gerenciamento ao longo do tempo em que a empresa operou em Bhopal.

**Figura 11 – Detalhamento do Tanque de Armazenagem.**



Fonte: Ayres, 1987.

### 2.2.2 Investigações Externas

Por se tratar do maior acidente da história da indústria química, não faltaram grupos independentes de investigadores privados, ou até mesmo do governo indiano, e estudos de caso para tentar desvendar o caso. No entanto, a conclusão alcançada por essas diferentes investigações foi similar, permitindo que fosse feito um compilado dessas teses. Essas investigações descredibilizam a teoria de sabotagem criada pela Union Carbide por diversos problemas nos processos responsáveis pela segurança da planta, apresentados a seguir.

Além disso, consideram que um alto conhecimento das tubulações ao redor dos tanques de armazenagem era requerido para que se fizesse, corretamente, a remoção do

indicador de pressão, o acoplamento da mangueira de água e recolocação dos encaixes da tubulação, não deixando vestígios. Dessa forma, seria improvável que evidências concretas deste ato não seriam encontradas. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

O foco dessas investigações foi entender a ordem cronológica dos fatos e os motivos para uma planta daquela magnitude não ter tido sistemas de segurança de processos eficazes para, ao menos, ter mitigado as consequências de um vazamento de gás tóxico. Assim, investigadores buscaram entender, primeiramente, o cenário macro em que a planta produtora de Sevin e a Union Carbide se encontravam nos anos e meses anteriores ao fatídico dezembro de 1984.

Diante dessas pesquisas, foi descoberto que a ocorrência de pequenos vazamentos de substâncias perigosas era algo frequente no dia a dia da planta, tendo ocorrido seis outros acidentes antes de 1984, dentre os quais três foram de substâncias tóxicas. (BOWONDER, 1987) Sendo assim, foi constatado que, em dezembro de 1982, um pequeno vazamento de fosgênio na unidade produtora de metil isocianato fez com que um operador da planta inalasse o mesmo, sendo levado ao hospital com diversas complicações que, posteriormente, levaram a sua morte. Diante deste acontecimento, alguns médicos puderam perceber a alta periculosidade das substâncias químicas que eram produzidas e utilizadas na fábrica. A população de Bhopal, em geral, não tinha noção dos perigos e riscos inerentes ao processo que fora implementado. De acordo com informações da empresa, o intuito dessa falta de informação era para não criar pânico “desnecessário” e aversão às atividades da planta por parte da população indiana. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Em setembro de 1982, um relatório foi escrito por três especialistas em segurança de processos visitantes da UCC. Nele observou-se algumas violações e problemas relacionados ao sistema de segurança de processos, como: as operações de limpeza de filtros eram realizadas, recorrentemente, sem a inserção do *slip blind* nas tubulações, tornando vazamentos em válvulas grandes potenciais para um acidente; o vazamento em válvulas ao longo do processo era bastante comum; o grupo de especialistas observou um caso em que a válvula de isolamento do metil isocianato – representada pelo número 8 na Figura 8 – estava vazando intensamente, de modo que, na ausência de um *slip blind* na tubulação, a liberação de MIC não poderia ser impedida; a equipe encontrou uma possibilidade de se contaminar o tanque de armazenamento do intermediário com material proveniente do *vent gas scrubber*; o medidor de pressão local do tanque de fosgênio estava defeituoso. (AYRES, 1987)

Obviamente, o relatório foi encaminhado para à gerência da planta norte-americana de Bhopal. Apesar de Warren Anderson, presidente da Union Carbide nos Estados Unidos, ter divulgado este relatório logo após o acidente no intuito de confirmar que todas as melhorias exigidas no relatório foram implementadas na planta de processos, não ficou claro quais ações específicas foram tomadas pela empresa após a divulgação do relatório em 1982. Assim, independente da fala do presidente, negligências do alto comando da Union Carbide passaram a ser alegadas. (AYRES, 1987)

Conforme investigadores e entrevistas com a população local, a UCC não espalhou e nem possuía planos adequados de evacuação da cidade ou qualquer plano de emergência junto às autoridades locais, os chamados planos reativos, para mitigar algum possível acidente. Em 1983, a empresa criou uma escala interna que ia de 1 até 4 para avaliar os componentes químicos presentes na fábrica, onde quanto maior o número, maior a periculosidade. Com isso, o metil isocianato esteve incluído na categoria de mais alto perigo – número 4 – sendo constatado como um produto químico capaz de gerar problemas físicos permanentes e mutações genéticas a quem o inalasse. Porém, mesmo tendo posse de estudos que comprovavam esse valor de periculosidade para o MIC e evidenciavam as consequências negativas de um futuro vazamento, a empresa não pareceu preocupada em desenvolver planos preventivos ou reativos de segurança de processos. Assim, os impactos de possíveis acidentes que viessem a ocorrer na fábrica não seriam controlados ou amenizados. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

É importante também ressaltar que, em 1984, foi constatado que a indústria funcionava apenas com menos da metade de sua capacidade instalada devido ao surgimento de novos produtos concorrentes mais eficientes, levando à diminuição da demanda do pesticida Sevin por parte dos produtores de alimentos. Com as condições vivenciadas, a intenção da matriz nos Estados Unidos era fechar a filial, mas pressões governamentais solicitaram a continuação do seu funcionamento, de modo que os empregos gerados pela fábrica fossem, ao menos parcialmente, mantidos. (AYRES, 1987)

Dessa forma, devido ao cenário, os cortes de gastos começaram a acontecer dentro da fábrica. Operadores foram demitidos, o número de supervisores foi diminuído e a produção começou a diminuir sua velocidade, de modo que a empresa continuasse operando, porém, em menor escala. Além disso, para completar as reduções nos custos, a empresa decidiu reduzir os sistemas de segurança e realizar processos de manutenção com menor frequência. Com

isso, a empresa conseguiu reduzir os custos anuais da planta, mantendo suas operações e reduzindo as pressões governamentais. (BOWONDER, 1987)

Cogitar que a Union Carbide sofria financeiramente para justificar essas atitudes, segundo diferentes equipes de investigadores, é um erro. Como justificativa, investigadores indagavam que, à época, a Union Carbide era considerada uma das principais indústrias químicas do mundo, além de apresentar um constante crescimento no início da década de 1980. (BROWNING, 1993)

Seguindo para as entrevistas realizadas com os operadores e funcionários em geral da planta, os investigadores constataram que o tanque 610 estava com 75% da sua capacidade preenchido com MIC. No entanto, as normas de segurança da planta recomendavam o preenchimento em torno de 50% da capacidade. Além disso, ainda de acordo com essas normas, um dos três tanques de armazenamento de metil isocianato deveria estar vazio como uma espécie de *backup*. Todavia, as entrevistas evidenciaram que os três tanques armazenavam certa quantidade do intermediário. (AYRES, 1987)

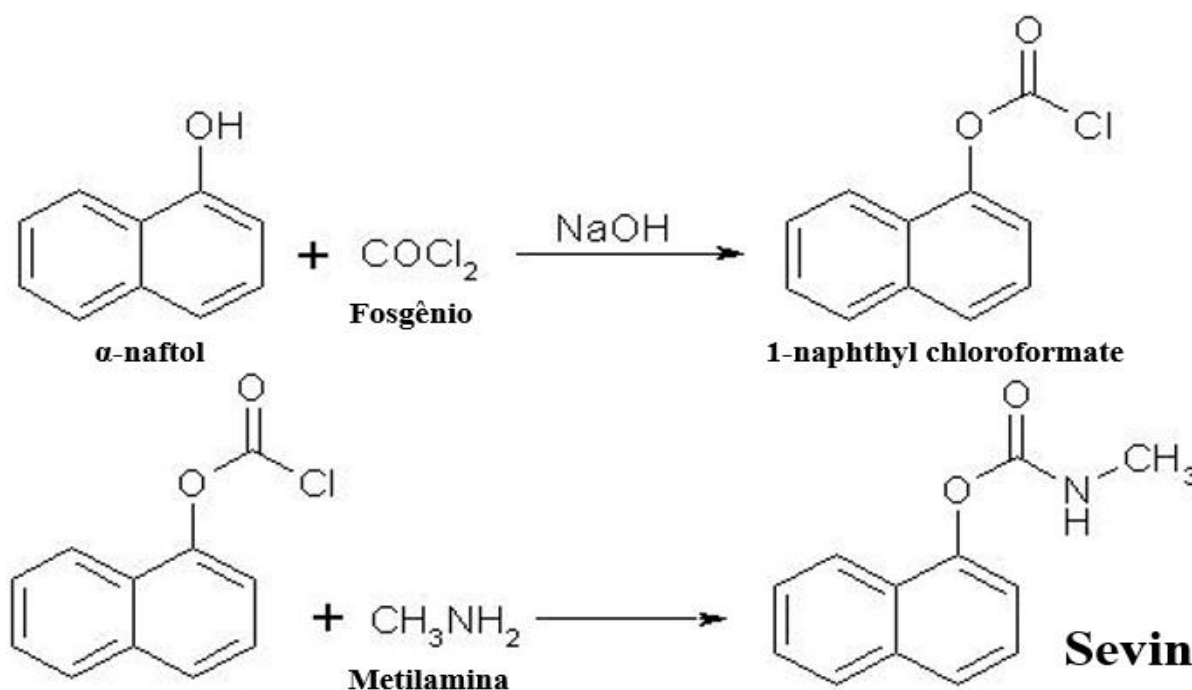
Diante deste cenário, um dia após o desastre, cerca de 21 toneladas ainda estavam presentes no tanque 611 e pouco menos de 1 tonelada no tanque 619, apesar de o medidor mostrar que este estava com 20% da sua capacidade preenchida. Este fato evidencia que o medidor não estava funcionando adequadamente, mostrando a negligência da empresa frente aos equipamentos e ao sistema de segurança da planta e fazendo com que os operadores não soubessem, de fato, a quantidade de MIC presente em cada tanque. (AYRES, 1987)

Assim, treze dias após o acidente, a planta foi religada para produção do pesticida Sevin com o objetivo de acabar com essa enorme quantidade de intermediário ainda restante na unidade. A operação durou cerca de uma semana, levando a maioria da população de Bhopal para outras cidades com receio de um novo acidente.

Como visto na Figura 1, o metil isocianato é um intermediário para a produção do pesticida Sevin. Assim, alguns estudos e investigações indagaram o porquê de tanto intermediário armazenado em uma planta de produção e obtiveram a resposta de que essa era uma prática generalizada, pois permitiria que a produção do pesticida continuasse por um período de tempo mesmo que a unidade produtora de MIC da planta fosse desativada. Ou seja, o armazenamento de intermediário era apenas conveniente, mas não essencial. (KLETZ, 2005)

Ademais, ao se questionarem se o pesticida Sevin precisava ser produzido via metil isocianato, investigadores descobriram que não. Os três mesmos reagentes utilizados na rota reacional da Union Carbide –  $\alpha$ -naftol, fosgênio e metilamina – ao serem reagidos em uma diferente ordem – representada na Figura 12 – também possui como produto o pesticida carbaril. No entanto, não há produção de metil isocianato e, conseqüentemente, não há necessidade de armazená-lo. Vale destacar que o fosgênio também é um composto perigoso no qual a empresa deveria tomar os devidos cuidados, porém sua periculosidade e toxicidade é menor que a do MIC. Conforme investigações, o motivo para não utilização desta rota alternativa pela Union Carbide não ficou claro. (KLETZ, 2005)

**Figura 12 – Rota Alternativa de Síntese do Sevin.**



Fonte: Exchemistry, 2019.

Como explicitado, o cenário era exatamente de um acúmulo de intermediário, pois a planta de produção de metil isocianato fora desativada seis semanas antes do fatídico dia. No entanto, para se ter noção da redução da demanda do pesticida ao longo dos anos 80, mesmo com praticamente um mês e meio sem produzir mais quantidades de metil isocianato, seu estoque nos tanques de armazenagem ainda era significativa.

Equipes de investigação calcularam que cerca de 500kg de água entraram no tanque, causando o aquecimento, fervura e vaporização do MIC, como visto na Figura 2. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006) No entanto, como mostrado na Figura 3, a reação de

trimerização do metil isocianato libera bastante energia, intensificando a reação exemplificada na Figura 2, além de ser catalisada na presença de metais – exceto aço inoxidável e níquel.

Assim, ao encontrar resíduos em pó no tanque, investigadores suspeitaram de uma possível presença de metal no tanque e enviaram amostras para laboratórios. Dessa forma, foi constatada a presença de traços de ferro no tanque, permitindo a conclusão de que uma enorme quantidade de água, com impurezas metálicas, havia chegado ao tanque momentos antes do desastre. O concreto que cobria o tanque havia rachado, indicando que a temperatura do meio excedeu os 300°C. (BOWONDER, 1987)

Trabalhadores, receosos de serem considerados os únicos culpados, também contrataram investigadores independentes para uma análise mais detalhada dos riscos e do que aconteceu de fato naquela madrugada. Como apurado, foi constatado que, por volta de 21:30 da noite do desastre, os trabalhadores haviam lavado as tubulações em uma lavagem de rotina de uma área que se conecta aos tanques de armazenamento via RVVH. (BOWONDER, 1987)

Água sob alta pressão era utilizada nessas lavagens para facilitar a desobstrução dos canos, sendo normal um certo acúmulo de água passar para as tubulações em direção à unidade produtora do intermediário. No entanto, os operadores não se preocupavam com isso pois a presença de um *slip blind* nas tubulações, nesses casos, atuava para conter o avanço de água em direção aos tanques de armazenamento.

Entretanto, no dia do acidente, segundo S. Qureshi, supervisor da planta no turno da noite, não havia instruções de inserir o *slip blind*, embora houvesse uma nota para que a lavagem fosse realizada no turno da noite. Assim, a falha de comunicação entre trabalhadores de turnos diferentes aumentou significativamente as chances de um acidente, já que as válvulas ao longo das tubulações não eram de total confiança, apresentando vazamentos frequentemente. (BOWONDER, 1987)

Além da falta de comunicação, as entrevistas permitiram a obtenção de relatos de que fora criado, pela empresa, uma *jumper line* entre as duas seções RVVH e PVH. Segundo investigadores, a criação da *jumper line* foi uma das formas que a Union Carbide encontrou de reduzir custos, pois assim conectava duas seções e permitia que os equipamentos fossem usados alternadamente. Essa tentativa de redução de custos fez com que as válvulas – representadas pelo número 1 na Figura 8 – que conectavam essas duas seções tivessem que



estar abertas, sendo mais um caminho para a água percorrer e alcançar os tanques de armazenamento de MIC. Ademais, equipes de investigadores puderam apurar que as válvulas de números 8 e 16 da mesma Figura estavam defeituosas, apesar de relatórios divulgados por investigadores da Union Carbide terem garantido suas atividades dentro do normal. (AYRES, 1987)

Dessa forma, como visto na Figura 8, os gases expulsos do tanque 610 foram transportados em dois caminhos. A seta tracejada evidencia o caminho percorrido pelos gases até 00:30 do dia 03 de dezembro, representando os pequenos vazamentos iniciais. Nessa etapa, os gases fluem via PVH, passando pela *jumper line*, já que a conexão entre a PVH e o *vent gas scrubber* fora isolada para manutenção, alcançando, assim, a RVVH e seguindo para o lavador de gás. Acredita-se que foi nessa etapa do vazamento em que os operadores sentiram o primeiro cheiro de metil isocianato sendo liberado e reportaram ao supervisor para que medidas fossem tomadas no intuito de conter o pequeno vazamento. A seta contínua evidencia o caminho percorrido após 00:30, onde o volume de gás expulso do tanque já era enorme, assim como a pressão nas tubulações, fazendo com que a maior parte dos gases expulsos fosse por este caminho, seguindo diretamente para a RVVH e, em seguida, indo em direção ao *vent gas scrubber*. (AYRES, 1987)

De acordo com entrevistas, os operadores não tiveram a total atenção dos seus supervisores ao reportarem o primeiro vazamento inicial. Assim, os supervisores das salas de controle, que estavam em seu momento de descanso, permaneceram. Até ali, nada era tão diferente do que os trabalhadores estavam acostumados a vivenciar em seus dias de trabalho. Pequenos vazamentos eram constantes, e os operadores sabiam como lidar com isso. Foi nesse período que os operadores da planta encontraram um possível ponto para o vazamento, tomaram as medidas padrões de outros vazamentos e voltaram aos seus postos, acreditando que tudo estava normalizado. (AYRES, 1987)

Os fatores explicitados acima foram primordiais para que a água pudesse percorrer as tubulações e chegar aos tanques de armazenamento, como visto na Figura 8. Entretanto, uma outra barreira deveria impedir a chegada de água no tanque. A existência de um sistema que insere, nos tanques de armazenamento, gás nitrogênio inerte, promovendo uma segura camada de alta pressão entre o MIC líquido no tanque e o restante da planta, impedindo a entrada de água no local de armazenagem do intermediário. (BOWONDER, 1987)

Porém, trabalhadores revelaram falhas neste sistema pois, dias antes do acidente, um operador relatou ter visto outros tentando pressurizar o tanque 610, mas sem sucesso. Uma falha na pressurização com N<sub>2</sub> de um tanque de armazenamento significava a existência de algum vazamento na tubulação. No entanto, ao checar os relatórios da planta, foi notado que esse problema não vinha sendo reportado. Dessa forma, a não pressurização do tanque também foi mais um componente que permitiu o contato da água com o metil isocianato. (BOWONDER, 1987)

A Union Carbide alegou sabotagem dos funcionários. De acordo com equipes de investigadores externos, pode até ter tido sabotagem de um operador em não colocar o *slip blind*, em danificar a válvula que permitia o escape de N<sub>2</sub> e de adicionar água deliberadamente ao tanque, mas o grande foco das suas investigações não era esse. O foco era saber por quais motivos, plausíveis ou não, a planta não estava preparada para acidentes das mais diversas magnitudes, de modo que os quatro sistemas de segurança da planta não funcionaram no momento em que deveriam entrar em ação. Assim, além de falhas técnicas, falhas no sistema de gestão de segurança de processos da empresa foram evidenciadas pelos investigadores. (BOWONDER, 1987)

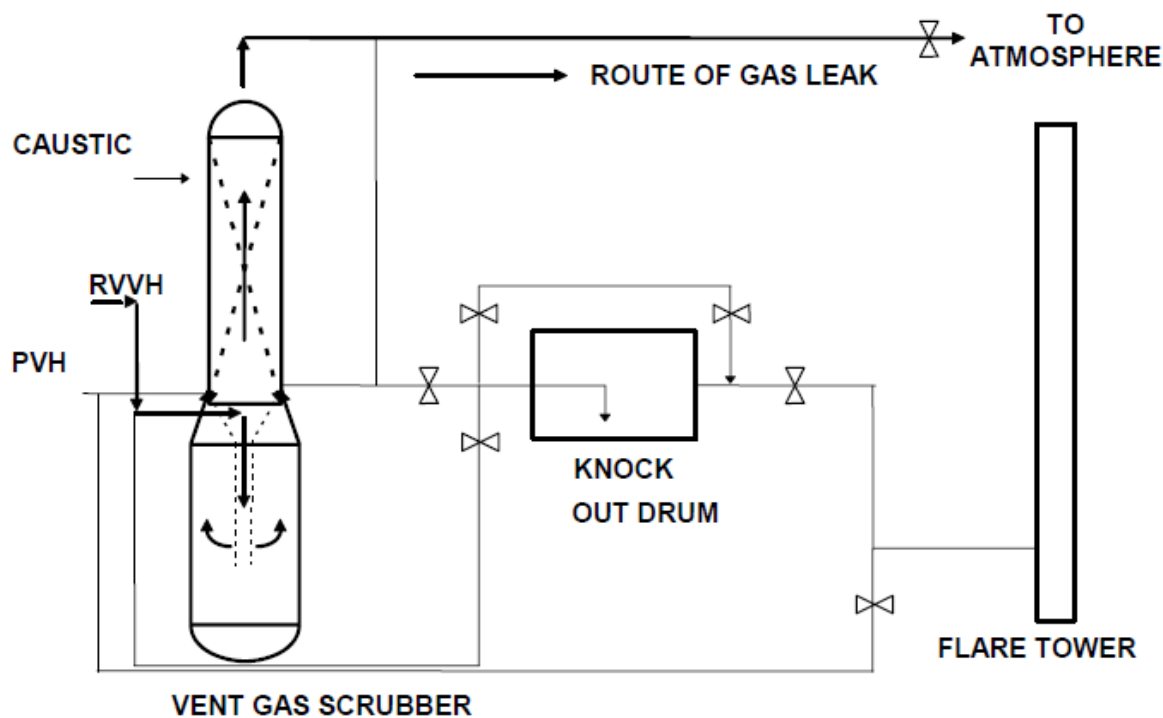
O primeiro sistema de segurança de processos a ser útil para reduzir os impactos da reação seria o sistema de resfriamento dos tanques de armazenagem de metil isocianato. Esse sistema – observado na Figura 8 – tinha como finalidade trocar calor com os tanques de armazenagem, de forma a manter as temperaturas deles baixas o suficiente para que fosse possível conservar o metil isocianato em sua forma mais estável – estado líquido. Dessa forma, a liberação de grande quantidade de calor pela reação descontrolada entre MIC, água e as impurezas deveria ser compensada, ao menos parcialmente, pelo sistema de resfriamento ali existente. Sua ação faria com que a temperatura do tanque não aumentasse significativamente, controlando a velocidade da reação. Com isso, o calor não vaporizaria o gás tóxico tão intensamente e o tanque não pressurizaria rapidamente. No entanto, conforme apurado, esse sistema de resfriamento estava desligado desde maio de 1984, sendo inoperante frente à reação que se desenvolveu. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Em seguida, o sistema a ser utilizado seria o lavador de gás – *vent gas scrubber* representado na Figura 13. Como visto nessa figura, seu funcionamento depende da adição de uma solução de soda cáustica em alta pressão. Essa solução é a responsável por limpar o gás contaminado, transformando-o em gás inerte. A planta de processos de Bhopal fora desenhada

para que qualquer tipo de vazamento fosse levado ao *vent gas scrubber* (VGS). De fato, foi o que aconteceu naquela noite. No entanto, este segundo sistema crucial para a proteção contra acidentes não estava operando por conta de uma manutenção. De acordo com entrevistas, operadores relataram que, já há algum tempo, não havia nenhuma indicação de que esse sistema estava operando. Ou seja, o mesmo estava fora de uso para redução de custos operacionais. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Além do seu não funcionamento, alguns investigadores, sob posse dos registros da planta, puderam constatar que o lavador de gás havia sido projetado para conter apenas pequenos e médios vazamentos, não estando preparado para um acidente da magnitude que ocorreu naquele dia. Porém, se o mesmo estivesse em completo funcionamento, ao menos uma parcela do gás tóxico poderia ser neutralizada, amenizando, assim, a sobrecarga para os sistemas de segurança em sequência do lavador de gás e reduzindo a quantidade e o impacto da liberação para a atmosfera. (BOWONDER, 1987)

**Figura 13 – Sistema de Tratamento de Gases com Vent Gas Scrubber e Torre de Flare.**



Fonte: Willey; Hendershot; Berger, 2006.

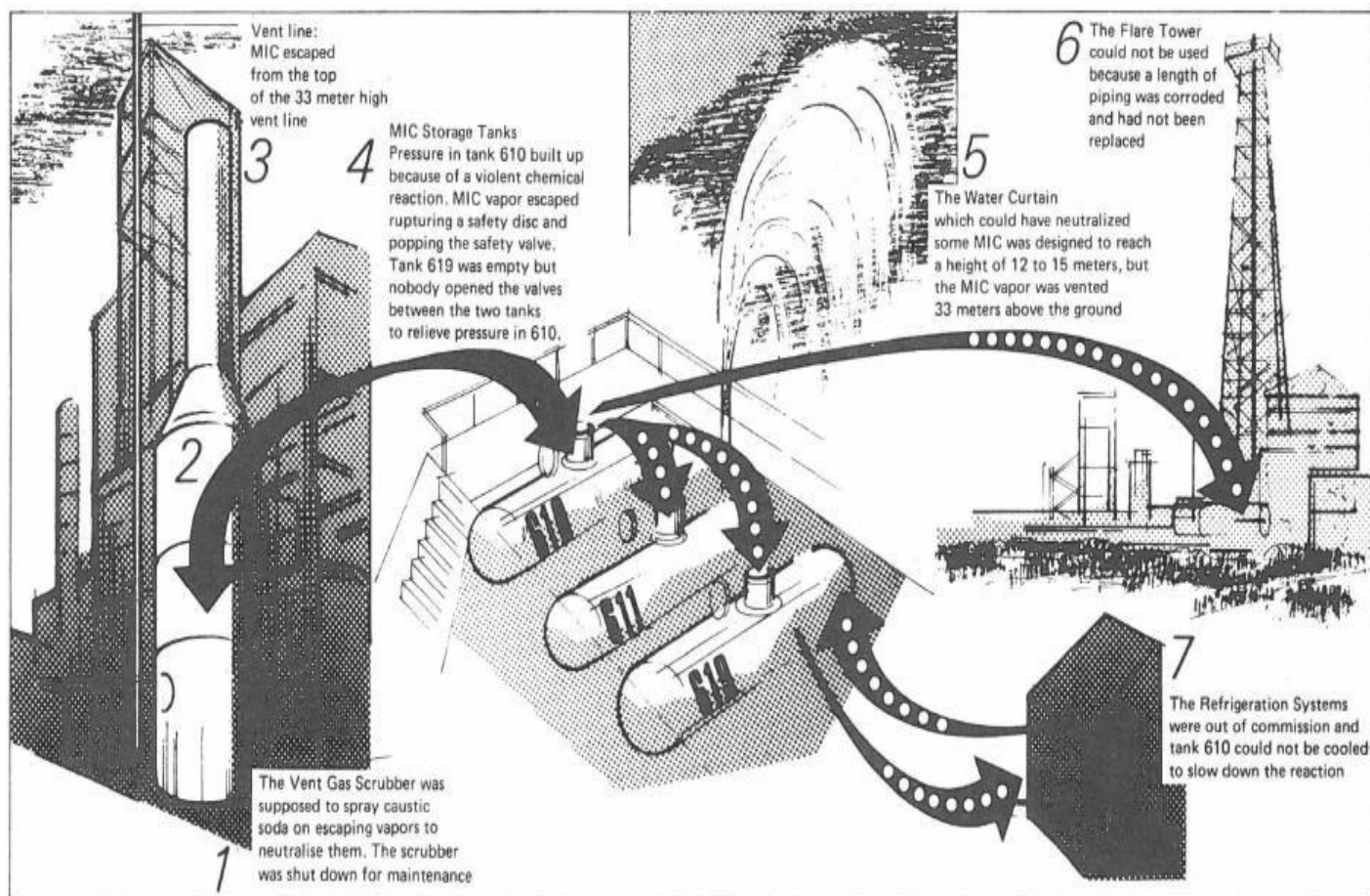
O terceiro sistema a ser utilizado seria o *flare* – visto também na Figura 13 – que, em condições normais e seguindo a sequência do processo, opera após o *vent gas scrubber*. Na Figura 13, também se percebe a existência de um *knock out drum*, que se situa entre o *flare* e o *vent gas scrubber* com o intuito de remover e acumular líquidos remanescentes após a

passagem da corrente de gás pelo lavador. Assim, chega ao *flare* apenas os gases, tanto os neutralizados pelo lavador de gás quanto os que foram inertes a essa etapa. Sua atuação é queimar esses gases sem diferenciar o que é inerte e o que não é, de modo que qualquer contaminante orgânico ainda remanescente seja transformado em, basicamente,  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . (AIROIL FLAREGAS, 2019)

Entretanto, grupos de investigadores privados descobriram que o sistema de *flare* também não estava operando, uma vez que uma peça da tubulação, que estava corroída, havia sido retirada do processo, porém jamais fora substituída. Segundo os entrevistados, era necessário cerca de 2h para colocar a peça no lugar correto e possibilitar que o sistema voltasse a sua atividade normal, mas isso não ocorreu, deixando o sistema inoperante. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Por fim, após o gás contaminado passar pelo *vent gas scrubber* e pelo *flare*, o mesmo seguia para a atmosfera. No entanto, ainda havia um quarto mecanismo de proteção composto por mangueiras posicionadas ao redor de uma chaminé de emergência capazes de jogar água em qualquer gás residual que saísse da chaminé – representado pelo número 5 na Figura 14. Caso esse sistema estivesse funcionando corretamente, o gás teria sido abatido pela água e iria pro chão, ou pelo menos parte dele. O problema desse sistema de água era que o projeto havia sido subdimensionado, de modo que a cortina de água formada pelas mangueiras alcançava uma altura entre 12 e 15 metros, no máximo, enquanto que o vapor de metil isocianato que saía pela chaminé estava a 33 metros do solo. Desse modo, os sprays de água não alcançavam a altura da chaminé, sendo suas ações ineficientes para conter o vazamento e todas as consequências dele. (AYRES, 1987)

**Figura 14 – Os Principais Sistemas de Prevenção e Mitigação de Incidentes e Acidentes.**



Fonte: Ayres, 1987.

Com todos os quatro sistemas de segurança ineficazes para conter o acidente, os trabalhadores da fábrica decidiram tomar alguma decisão para tentar reduzir os efeitos que esse vazamento pudesse causar. Assim, alarmes de segurança foram acionados para tentar avisar aos moradores sobre um possível problema, começando um processo de evacuação. Entretanto, este alarme não era alto o suficiente para que as pessoas acordassem na madrugada e, como os trabalhadores não desejavam criar mais pânicos na cidade, o alarme foi prontamente desligado. Dessa maneira, os moradores apenas puderam sentir o cheiro e os impactos do gás, mas não sabiam o que de fato ocorrera. Além disso, nenhum integrante da planta reportou o vazamento às autoridades. A informação chegou às autoridades por policiais que estavam de plantão naquela noite e avistaram algo de errado com a planta. (BOWONDER, 1987)

Porém, como alguns investigadores descobriram que não havia planos de conscientização da população sobre os riscos daquela indústria química na cidade e planos de emergência organizados concomitantemente às autoridades locais, o fato de o acidente não ter

sido reportado assim que ocorrera não impactou significativamente nas consequências. Diante dos fatos, ficou claro que a cidade não possuía uma estrutura de evacuação com ônibus, trens ou qualquer outro meio de transporte para promover a retirada da população o mais rápido possível. (WILLEY; HENDERSHOT; BERGER, 2006)

Após entrevistas com pessoas que sofreram diretamente as consequências desse vazamento, alguns médicos citaram algumas simples ações que a população poderia ter tomado após o acidente, de modo que a exposição seria drasticamente reduzida, prevenindo vidas e contaminações. São elas: evitar de sair de casa; fechar as portas e janelas de casa, colocando toalhas molhadas nos vãos para evitar a entrada do gás e, conseqüentemente, a contaminação do ambiente interno; caso necessário sair de casa, andar no sentido contrário ao vento. Entretanto, sob o princípio de não causar pânico na população em relação ao que era produzido na cidade, mais uma vez a Union Carbide, junto às autoridades locais, não divulgava medidas a serem tomadas em caso de acidentes na planta, permitindo que investigadores confirmassem, cada vez mais, a negligência da empresa. (AYRES, 1987)

Anos após a maioria dessas investigações, foi apurado e descoberto que, meses antes do desastre, um relatório interno de segurança, criado por especialistas da UCC, reportou aos seus superiores nos Estados Unidos sobre a possibilidade de ocorrer uma calamidade em relação à planta de Bhopal. Nesse caso, o relatório se preocupava justamente com a chance de ocorrer uma reação descontrolada em algum dos tanques de armazenamento de metil isocianato. Todavia, de acordo com documentário da BBC “One Night in Bhopal” realizado em 2004, o relatório permaneceu internamente, não sendo divulgado nem enviado para os gerentes da fábrica na Índia.

### **2.3. Ordem Cronológica dos Fatos**

Diante da grande quantidade de divergências entre a investigação da Union Carbide e os grupos de investigadores externos explicitadas acima, a ordem cronológica dos acontecimentos naquele dia é apresentada diferentemente pelas duas investigações. Dessa forma, o que varia entre as ordens cronológicas divulgadas é a consideração, ou não, de certos eventos considerados relevantes pelos investigadores responsáveis, criando assim um maior embasamento para cada teoria.

Assim, as versões e suas particularidades são apresentadas a seguir.

### 2.3.1 Ótica da Union Carbide

A cronologia apresentada pela Union Carbide em seus relatórios se baseia na sua investigação feita por Jacscon B. Browning e no relatório independente de Ashok S. Kalelkar. Essas investigações concluíram que a entrada de água no tanque 610 havia sido provocada por uma mangueira que fora colocada diretamente no tanque. Além disso, considera que as principais partes envolvidas no acidente – os operadores – tentaram encobrir os eventos principais para o desenrolar da tragédia com o intuito de se protegerem e evitarem futuras retaliações.

Assim, a empresa levou em consideração os relatórios dos operadores, mas principalmente suas entrevistas e contradições ao longo delas, onde então chegou à conclusão da seguinte sequência de acontecimentos:

- 22:20 de 02/12/1984 – operadores checam a pressão do tanque 610 e constatarem que a mesma se encontra em condições normais. De acordo com o marcador de pressão, a marcação era de 2 psig. Essa informação foi de suma importância para os investigadores pois, diante deste fato, puderam concluir que a reação não poderia ter começado antes desse horário, uma vez que o aumento de pressão já teria sido noticiado. (KALELKAR, 1988)
- 22:45 – ocorre a troca de turno. Nesta etapa, as unidades de produção ficam vazias por, no mínimo, trinta minutos. Durante esse período, considerando as áreas da planta vazias, investigadores acreditam que um operador insatisfeito entrou na área de armazenamento de metil isocianato e acoplou uma mangueira ao tanque 610 com o intuito de contaminar e estragar o conteúdo do tanque, gerando prejuízos financeiros à empresa, uma vez que, segundo a UCC, todos os operadores da planta tinham a informação de que água e metil isocianato não deveriam ser misturados. Segundo investigadores, ele retirou o indicador de pressão local – representado pelo número 10 na Figura 10 –, algo facilmente realizado com as mãos, e conectou a mangueira ao tanque. Conforme pesquisado, a operação aqui descrita poderia ser facilmente realizada em um período de cinco minutos. Assim, o fator tempo não foi considerado pelos investigadores da empresa como uma forma de anular suas próprias teorias. (KALELKAR, 1988)

- Em torno de 23:30 e 23:45 – neste momento, o dióxido de carbono formado pela reação representada na Figura 2, juntamente com os vapores de metil isocianato expulsos do tanque de armazenamento, foi transportado para fora do *vent gas scrubber*. Como, segundo relatórios, a válvula representada pelo número 16 na Figura 7 estava em posição fechada antes do acidente, e foi constatado que o tanque mantinha um intenso vácuo quando esfriou após o acidente, investigadores concluíram que a mesma havia sido aberta temporariamente para permitir que a água entrasse deliberadamente no tanque. Assim, alguns operadores sentiram o cheiro, reportaram ao supervisor. No entanto, como os supervisores não quiseram terminar com seu período de descanso naquele momento, os operadores da planta começaram a procurar, sozinhos, possíveis pontos causadores do vazamento de gás para que medidas cabíveis fossem tomadas. (KALELKAR, 1988)
- 0:00 – trabalhadores encontraram o que acreditavam ser a fonte do vazamento, uma seção de tubulação próxima ao *vent gas scrubber*. Assim, conectaram uma mangueira no sentido contrário para conter o suposto vazamento e retornaram aos seus postos, considerando que o problema havia sido solucionado. (KALELKAR, 1988)
- Entre 00:15 e 00:30 do dia 03/12/1984 – diversos operadores da unidade de MIC observaram os medidores de pressão na sala de controle e constataram um intenso aumento de pressão no tanque 610. Assim, rapidamente chegaram ao tanque, discutiram medidas a se tomar, junto aos supervisores, e decidiram realizar a transferência de cerca de uma tonelada do material que havia dentro do tanque. (KALELKAR, 1988)
- 00:45 – o supervisor da unidade de MIC comunica ao gerente de produção da planta os recentes acontecimentos e as medidas tomadas para conter as possíveis consequências. (KALELKAR, 1988)

### 2.3.2 Ótica dos Investigadores Externos

As cronologias apresentadas pelos diferentes grupos de investigadores independentes em seus relatórios foram similares. Essas cronologias tiveram como base as investigações que concluíram que a entrada de água no tanque 610 havia sido provocada por uma operação de rotina de uma lavagem com água de uma *sub-header* da seção da RVVH. Assim, o foco



principal foi nos fatos que aconteceram após os gases expulsos do tanque passarem pelos sistemas de segurança de processos.

Assim, os investigadores também levaram em consideração os relatórios dos operadores e suas entrevistas, além dos diversos fatos que evidenciavam a negligência da empresa frente aos seus processos de segurança. Então, a seguinte sequência de acontecimentos foi concluída:

- 21:30 de 02/12/1984 – um operário inicia uma operação de lavagem de rotina. A presença de tubulações entupidas fez com que o sistema se inundasse e vazasse água através da tubulação que conectava a área de lavagem com a unidade produtora de MIC. Neste ponto, os trabalhadores não ficaram preocupados, pois a presença do *slip blind* seria o principal e primeiro fator para impedir que consequências piores do que a de um pequeno vazamento viessem à tona.
- 22:45 – troca de turno. Devido à existência de válvulas defeituosas, a primeira gota de água, contaminada com metais e sob pressão, chega ao tanque 610. Como o sistema de refrigeração do tanque estava falho e sem manutenção e a reação entre o metil isocianato e a água é catalisada na presença de impurezas como o ferro, não foi possível manter a temperatura do tanque 610 baixa o suficiente para não acelerar ainda mais a violenta reação. Assim, com a temperatura alta, a reação de trimerização de MIC deu início, aumentando ainda mais a temperatura do tanque.
- 0:00 – o MIC líquido começa a ferver, fazendo com que pequenos vazamentos iniciais pudessem ser percebidos pelos trabalhadores que, então, sentiram o cheiro e reportaram o vazamento. Mas, por ser um vazamento de pequena magnitude e ser algo recorrente nas instalações da planta, os operadores adicionaram a mangueira para expulsar ar no sentido contrário ao vazamento. No entanto, a medida que o tempo passava e o MIC líquido se transformava em gás, a pressão do tanque ia aumentando. Porém, os operadores não tinham noção deste aumento, uma vez que os medidores defeituosos mostravam apenas pequenas variações na temperatura e pressão, sendo nada fora do normal. Até que, repentinamente, as medidas passaram da escala do medidor.

- 0:30 do dia 03/12/1984 – operador chefe da sala de controle presencia o impacto da reação quando a alta pressão faz com que a válvula de alívio do tanque seja danificada e as paredes do tanque comecem a rachar. Neste momento inicia-se o enorme vazamento de gás tóxico. Assim, o gás composto por metil isocianato em sua maioria e outras substâncias como fosgênio, CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> segue em direção ao *vent gas scrubber* para sofrerem uma lavagem com soda cáustica e terem seus efeitos tóxicos neutralizados. Entretanto, devido à falta de manutenção e investimentos nos processos de segurança, o lavador de gás era subdimensionado e estava desativado, permitindo que o gás passasse sem sofrer alterações.
- 00:45 – o gás chega ao *flare* para ser queimado, o transformando, assim, em CO<sub>2</sub> e água, basicamente. Porém, pela mesma negligência, o mesmo não estava funcionando devido a não troca de uma tubulação anteriormente retirada. Assim, o gás tóxico segue em direção à atmosfera.
- 00:50 – como uma última tentativa de conter o vazamento de gás, operadores da planta ligam os canhões de emergência de água situados na área externa da planta com o intuito de conter a Pluma criada. Entretanto, os canhões também haviam sido subdimensionados e, então, a água não alcançava a chaminé, tornando suas ações ineficientes frente à enorme Pluma que se formava em direção à civilização.
- 01:00 – o alarme de gás tóxico foi acionado, porém desligado minutos após. Nesse momento, um policial de plantão percebe algo errado e reporta a seus superiores.
- Entre 02:00 e 02:30 – após o escape de 40 toneladas de metil isocianato, aproximadamente, o vazamento é contido pela reativação da válvula de segurança.

### 3. DISCUSSÃO DO ACIDENTE NO CONTEXTO DO RBPS

#### 3.1. A Influência de Bhopal nos Sistemas de Gestão

O desastre de Bhopal ficou marcado na humanidade em diversos seguimentos. No âmbito da indústria química não foi diferente. Apesar de o acidente ter ocorrido em uma planta localizada na Índia, o fato de a proprietária da fábrica ter sido uma empresa norte-americana e, à época, a Union Carbide ser considerada uma das principais indústrias químicas no mundo, criou-se uma repercussão imensa dentro do ramo da Engenharia Química e suas similares.

Em 1970, foi criado, nos Estados Unidos, uma agência nacional de saúde pública denominada OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*. O seu principal propósito era criar leis e normas que garantissem um local de trabalho seguro como um direito básico dos seres humanos e, assim, se dedicando para que nenhum trabalhador precise escolher entre sua vida e seu trabalho. (OSHA, 2020). Todavia, seu campo de atuação era apenas em alguns estados dos EUA.

O Instituto Americano de Engenheiros Químicos – *American Institute of Chemical Engineers* (AIChE) – com fundação em 1908, foi criado, em princípio, para distinguir engenheiros químicos dos químicos e dos outros engenheiros, em especial os mecânicos. No entanto, o AIChE, desde os anos 80, está altamente preocupado e buscando soluções para problemas relacionados à segurança de processos e à perda de controle dos processos nas indústrias químicas. Desse modo, implementou melhores comunicações e constantes desenvolvimentos dos mais altos padrões de segurança nesses ramos. (CCPS, 2014)

De fato, o acidente de Bhopal, concomitantemente ao acidente industrial de San Juanico, México, causado por uma série de explosões em um tanque de gás liquefeito de petróleo (GLP) também em 1984, impulsionou o AIChE a se preocupar e difundir, ainda mais, técnicas e sistemas de gestão relacionadas à segurança de processos. Então, em 1985 foi criado, pelo instituto americano, o Centro de Segurança de Processos Químicos – *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) – para ficar encarregado de desenvolver e difundir informações técnicas a serem utilizadas na prevenção de grandes acidentes químicos. (AICHE, 2020)

Com isso, para promover o melhor gerenciamento da segurança de processos e seu constante desenvolvimento na indústria, o CCPS criou, desde 1989, uma série de *guidelines*,

mostrando os caminhos a serem seguidos pelas indústrias. (AICHE, 2020) O primeiro *guideline* criado, com doze elementos primordiais pra o desenvolvimento de um eficiente sistema de gerenciamento de segurança de processos nas indústrias, teve como base algumas das normas já desenvolvidas pela OSHA.

No entanto, após um grande impacto inicial, a evolução do gerenciamento de segurança de processos pareceu ter estagnado em diversas indústrias, de modo que investigações de acidentes continuavam a escancarar falhas na gestão desse sistema como umas das principais causas do ocorrido. Então, essas diretrizes foram sendo aprimoradas e publicadas novas versões ao longo do tempo, dando o embasamento para que, em 2007, fosse criado a estrutura de Segurança de Processos Baseada em Riscos – *Risk-Based Process Safety* (RBPS) – a partir da publicação do livro *Guidelines for Risk Based Process Safety*. (AICHE, 2020)

Ao longo do trabalho pode-se perceber que as principais teorias encontradas pelas equipes de investigação – sabotagem e lavagem inadequada de água – são inconclusivas, havendo algumas controvérsias em cada uma. Desse modo, com o decorrer dos anos, estudos e investigações que buscavam um específico evento iniciador do acidente foram se tornando, gradativamente, irrelevantes. Isso se deve ao fato de ter ficado cada mais vez mais evidente a existência de diversas ações, ou falta delas, com impactos significativos para o acontecimento do acidente.

Em geral, essas ações são resumidas em falhas no sistema de gestão do processo e de sua segurança, por parte da empresa e do governo, e falhas técnicas e operacionais, por parte dos funcionários da planta. Em seguida, as diretrizes do RBPS para um eficiente sistema de gestão de segurança de processos estão apresentadas. Em adição, as falhas citadas que aconteceram na planta indiana são explicitadas e discutidas ao longo de cada elemento da estrutura do RBPS.

### **3.2. A Estrutura RBPS e as Falhas em Bhopal**

Conforme (CCPS, 2007), o termo sistema de gestão significa “um conjunto formalmente estabelecido e documentado de atividades projetadas para produzir resultados específicos de maneira consistente e sustentável”. O intuito para a criação dessa estrutura era para que o RBPS fosse a base e principal fonte de informações sobre gerenciamento de segurança de processos para as próximas gerações. A proposta das diretrizes do RBPS é

ajudar organizações a criarem, corrigirem, melhorarem e implementarem sistemas de gestão de processos de segurança mais efetivos, permitindo, assim, que as indústrias alcançassem a excelência em sua performance. A aplicação das suas diretrizes é direcionada a problemas de segurança de processos em qualquer indústria que envolva a fabricação, uso ou manuseio de substâncias perigosas, ficando a cargo de cada indústria decidir quais áreas e fases do processo são as mais apropriadas para a aplicação dessas diretrizes.

De acordo com a abordagem RBPS, os perigos e riscos inerentes a uma indústria de processos químicos não são todos iguais. Em consequência disso, ela defende o gerenciamento de recursos, de modo que se trate os diferentes tipos de risco e perigos com intensidades diferentes, alocando mais tempo, dinheiro e intensidade nos cenários que trazem maior ameaça. No entanto, é importante que todos os cenários críveis sejam considerados e tratados.

Nesse caso, uma falha no sistema de segurança de processos de Bhopal já se evidencia. Nem todos os cenários críveis de acidentes eram considerados e tratados, de modo que acidentes foram acontecendo ao longo da vida útil da planta e, sem serem tratados nas suas raízes, permitiram um acidente da magnitude vivenciado em 1984.

As diretrizes do RBPS oferecem duas maneiras de como as empresas podem aplicar, com sucesso, o sistema de gestão proposto. A primeira estratégia consiste em utilizar o RBPS para criar, corrigir ou melhorar os elementos de um sistema de gestão de segurança de processos, revisando as atividades associadas a cada elemento e as atualizando de acordo com o entendimento dos riscos associados às instalações e às operações, o entendimento da demanda por atividades de segurança de processos e os recursos necessários para a realização dessas atividades e o entendimento de como as atividades de segurança de processos são influenciadas pela cultura e valores que a empresa prega. A segunda estratégia consiste em compreender a eficácia da segurança de processos como uma função do seu desempenho e eficiência, utilizando métricas para medir essas duas variáveis e, assim, aplicar os recursos da empresa de maneira a se priorizar os elementos mais necessitados e, para manter um processo de melhoria contínua buscando à excelência, lançar mão de monitoramentos e avaliações de gerenciamento para checar se a empresa está no caminho correto. (CCPS, 2014)

Pode-se observar que, em Bhopal, nenhuma das duas maneiras, ou pelo menos algo similar, foi seguida. Seu sistema de gerenciamento não foi constantemente medido e monitorado. A eficácia do sistema era mínima para acidentes maiores, com equipamentos

subdimensionados. Assim, alguns problemas e pequenos acidentes evidenciaram a necessidade da implementação de melhorias nos equipamentos de segurança de processos. Porém, não sendo uma cultura da Union Carbide, as atividades retificadoras não aconteceram como deveria.

A abordagem do RBPS é construída em 4 pilares fundamentais:

- Comprometimento com Segurança de Processo;
- Compreender Perigos e Riscos;
- Gerenciar Riscos;
- Aprender com a Experiência.

Esses pilares que, no primeiro *guideline* publicado em 1989, eram divididos em doze elementos, a partir da mais nova publicação feita em 2007, foi expandido para vinte elementos, evidenciando a constante preocupação do CCPS em evoluir no âmbito do gerenciamento de segurança de processos. Esses pilares e seus vinte elementos estão demonstrados na Tabela 1 e têm suas ideias aprofundadas a seguir.

**Tabela 1 - 20 Elementos do RBPS.**

Pilares		Elementos	
1	Comprometimento com Segurança de Processo	1	Cultura de Segurança de Processo
		2	Conformidade com Padrões e Normas
		3	Competência em Segurança de Processo
		4	Envolvimento da Força de Trabalho
		5	Envolvimento dos Stakeholders
2	Compreender Perigos e Riscos	6	Gestão do Conhecimento de Processo
		7	Identificação de Perigos e Análises de Risco
3	Gerenciar Riscos	8	Procedimentos Operacionais
		9	Práticas de Trabalho Seguro
		10	Integridade de Ativos e Confiabilidade
		11	Gestão de Contratados
		12	Treinamento e Garantia de Desempenho
		13	Gerenciamento de Mudanças
		14	Prontidão Operacional
		15	Conduta de Operações
4	Aprender com a Experiência	16	Gerenciamento de Emergência
		17	Investigação de Acidentes e Incidentes
		18	Indicadores e Monitoramento
		19	Auditorias
		20	Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua

Fonte: Adaptado de CCPS, 2007.<sup>1</sup>

### 3.3. Comprometimento com Segurança de Processo – 1º Pilar

Este pilar é fundamental para que a excelência em segurança de processos seja alcançada por uma empresa. O comprometimento de toda a organização é essencial. Assim, aquelas empresas que colocam a segurança de processos como um de seus principais valores – e realmente atua no dia a dia para que todos os envolvidos com a organização tenham os mesmos valores da empresa – têm uma grande tendência a trilhar os melhores caminhos quando o assunto é a segurança de processos. Dessa forma, com uma forte liderança e um comprometimento constante, o foco na excelência será mantido pela empresa. (CCPS, 2014)

Para entender melhor este pilar, tem-se os seguintes cinco elementos que o representam.

<sup>1</sup> Guidelines for Risk Based Process Safety, CCPS, 2007

### **3.3.1 Cultura de Segurança de Processo**

A cultura de segurança de processo é definida, basicamente, como a combinação de valores e comportamentos que determinam a maneira na qual a segurança de processo será gerenciada. Assim, essa cultura é observada na forma como as tarefas são feitas na empresa e o modo em que os seus funcionários agem quando estão realizando seu trabalho sem nenhuma supervisão por perto. Alguns princípios são utilizados para desenvolver essa cultura dentro de uma empresa, afetando positivamente um sistema de gestão de segurança de processos. (CCPS, 2014)

Um deles é a empresa implementar a prática recorrente dessa cultura dentro do seu ambiente. Para isso, ela precisa, por exemplo, estabelecer a segurança de processos como um valor central da empresa, possuir uma liderança sólida e impor altos padrões de performance aos seus comandados. Outro princípio se baseia em implementar uma cultura sólida na empresa, permitindo, assim, que os problemas e desafios vivenciados em segurança de processos sejam resolvidos com sucesso. (CCPS, 2014)

Para isso, é preciso que a comunicação dentro da empresa seja sempre aberta e eficaz, de modo que se tenha um ambiente de questionamento e aprendizado constante. Além disso, é importante criar uma confiança mútua entre empregador e funcionário e capacitar, de forma recorrente, os colaboradores para que eles cumpram suas responsabilidades de segurança. Por fim, este elemento também estimula a empresa a monitorar, constantemente, a cultura da empresa a partir de indicadores de performance, sempre criando ações para intensificar aqueles valores que não estão sendo bem representados no cotidiano de trabalho. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, ficou evidente que a cultura de segurança de processos não era um valor principal da empresa. O subdimensionamento de equipamentos mitigadores de acidentes, a naturalidade com que se tratava pequenos acidentes, a escolha do lucro em detrimento da segurança, a falta de manutenção dos equipamentos e, em geral, a negligência da Union Carbide mostram que a segurança de processos estava longe de ser parte de sua cultura.

Mesmo que se deixe de lado a negligência da empresa e, considerando que tenha ocorrido uma sabotagem de alguns funcionários insatisfeitos, esse fato também evidencia falhas da empresa em não assegurar apenas profissionais comprometidos com a segurança de processos. Assim, mesmo que a empresa tenha relatado, em 1982, estar correta em relação à



segurança da planta, ela falha em não se comunicar, monitorar e capacitar seus funcionários para que todos estivessem alinhados com o compromisso da segurança de processos.

### **3.3.2 Conformidade com Padrões e Normas**

A conformidade com padrões e normas é de suma importância para um eficiente sistema de gerenciamento de segurança de processos. O sistema de padrões interage, de certo modo, com todos os elementos do sistema de gerenciamento do RBPS. Esse sistema trata-se de padrões, códigos, normas, regulamentos e leis nacionais ou internacionais a serem seguidos.

Dessa forma, sua implementação permite que as informações sejam muito mais claras e possam ser trocadas de forma mais rápida entre os interessados no assunto, facilitando a comunicação entre empresas, por exemplo. O total conhecimento e conformidade com esses padrões possibilita uma empresa a operar e manter suas instalações seguras, a implementar, recorrentemente, práticas de segurança de processos e a minimizar a sua responsabilidade legal. Assim, algumas importantes atividades são consideradas primordiais de serem implementadas a fim de desenvolver este importante elemento. (CCPS, 2014)

Primeiramente, é essencial que a empresa se assegure que a implementação desse sistema de padrões seja algo comum no seu cotidiano, além de, constantemente, avaliar e corroborar se as práticas desses padrões continuam efetivas. Para isso, a empresa deve contar com colaboradores competentes e que consigam identificar onde a conformidade com padrões é, de fato, mais importante e necessária. O sistema de padrões e normas sugerido pelo RBPS deve possuir um mecanismo de comunicação para informar à gerência e ao pessoal sobre as obrigações e o status de obediência da empresa. Assim, esse elemento é de extrema importância para monitorar mudanças nas obrigações e seus impactos no ambiente da empresa. Então, é primordial que a empresa esteja sempre revisando a aplicabilidade desses padrões a medida que alterações nos processos aparecem e surgem-se novas informações relacionadas a esse sistema, fornecendo aos seus colaboradores condições apropriadas para a realização dessas atividades padronizadas. (CCPS, 2014)

Com intuito de buscar esses resultados constantemente, é também importante que a empresa esteja sempre atualizando os documentos e relatórios de conformidade desses padrões quando necessário, além de arquivar esses relatórios e estar em frequente

comunicação com entidades externas, compartilhando registros que garantem a excelência na conformidade com os padrões e normas pré-estabelecidos.

Em relação à Union Carbide em Bhopal, pode-se dizer que a conformidade com padrões e normas, em certos casos, não aconteceu. É evidente que, nas décadas de 70 e 80, as leis e normas nacionais e internacionais não eram tão rígidas como atualmente. Por exemplo, um equívoco na legislação indiana é observado na não regulamentação em relação à estocagem de metil isocianato no país. Enquanto a maioria dos outros países proibiam a estocagem em larga escala deste material perigoso, o governo indiano não regulamentou sua armazenagem.

Entretanto, ficava à cargo da empresa discernir qual legislação era a mais eficiente em relação à segurança de processos e, então, seguir os procedimentos mais responsáveis. Como visto, a Union Carbide falha na sua decisão de armazenar metil isocianato em larga escala. Além disso, como supracitado, o tanque 610 estava com 75% da sua capacidade preenchido com MIC, enquanto que as normas de segurança da planta recomendavam o preenchimento em torno de 50% da capacidade. Ou seja, nem as próprias normas da empresa estavam sendo seguidas. Mais uma vez, é evidenciada uma falha da empresa em não capacitar seus funcionários e monitorá-los para assegurar que os padrões e regras estão sendo respeitados.

Ademais, percebe-se que as normas e padrões não foram atualizados ao longo do tempo. Concomitantemente aos gerenciamentos de mudanças – MOC's – que deveriam ter sido feitos quando a planta manteve suas operações sem dois importantes equipamentos de segurança de processos em funcionamento – *vent gas scrubber* e *flare* – ou quando teve redução do quadro de funcionários, deveriam ter sido atualizados e documentados os novos padrões a serem seguidos. Assim, seria possível realizar atividades de capacitação e treinamento para que os trabalhadores soubessem como exercer suas funções sem fugir das normas exigidas pela empresa. Com isso, os problemas da nova realidade seriam minimizados. No entanto, não foram encontradas evidências de novos documentos.

### **3.3.3 Competência em Segurança de Processo**

Para que um comprometimento em segurança de processo e todos os outros elementos do RBPS sejam relevantes dentro da empresa, faz-se necessário que a organização tenha bastante competência nestes assuntos. O principal objetivo deste elemento é

desenvolver o conhecimento de uma organização antes de qualquer acidente ou incidente. Assim, a fim de desenvolver essa competência, a empresa deve, basicamente, estar sempre melhorando e buscando novos conhecimentos, além de garantir que as informações necessárias estejam disponíveis às pessoas que precisam delas. Com isso, é primordial a aplicação, no dia a dia de trabalho, de tudo o que é constantemente aprendido. (CCPS, 2014)

Desse modo, este elemento possui uma forte conexão com o elemento de Treinamento e Garantia de Desempenho. Ou seja, os desenvolvimentos dos dois elementos precisam estar alinhados para que, a partir de capacitações e treinamentos, se garanta a competência em segurança de processos.

A competência em segurança de processos é caracterizada pelo cenário macro da empresa onde o comportamento coletivo das equipes trabalhadoras é realizado com excelência. No entanto, alguns cenários micros precisam ser desenvolvidos antes de alcançar essa competência coletiva. Primeiramente, é preciso que se desenvolva a consciência individual, garantindo que os trabalhadores saibam os conceitos básicos referentes à manutenção, operação e engenharia do processo. Percebe-se que essa consciência individual não foi assegurada em Bhopal. Trabalhadores não eram qualificados e instruídos o suficiente para saberem como agir em cenários acidentais. Com isso, aconteceram atrasos e dúvidas em ações que poderiam mitigar as consequências do vazamento. Como exemplo, tem-se os casos da demora no reconhecimento de que o aumento excessivo de pressão no tanque era algo anormal e da transferência de apenas uma tonelada de MIC para o tanque anexo pois havia o receio da transferência intensificar o problema.

Após o desenvolvimento da consciência individual, é necessário garantir este conhecimento básico por meio de treinamentos teóricos. Em seguida, faz-se necessário o desenvolvimento destes treinamentos, garantindo que o conhecimento adquirido seja transformado em habilidade prática de cada funcionário. Por fim, para assegurar a transformação de funcionários habilidosos em especialistas – capazes de treinar outras pessoas –, é ideal a realização de treinamentos práticos avançados que considerem fatores humanos e análises de risco. Dessa forma, minimizam-se os erros humanos que, de acordo com estudos de risco, poderiam levar a acidentes. Além disso, a expertise individual vai sendo transformada em expertise coletiva ao longo do tempo, a medida que a empresa monitora este conhecimento com indicadores de performance.

Como pode-se perceber, existem diferentes níveis de proficiência. Esses níveis variam, normalmente, entre o nível de consciência, o de conhecimento básico, o de profissional e o de especialista. Por fim, ainda existe um nível superior, o de líder. Cabe a cada empresa definir as qualificações e características profissionais que cada nível deve ter. Com esta definição, é de suma importância que a empresa desenvolva uma matriz tridimensional de competência. Esta matriz deve explicitar quais níveis de proficiência, em diferentes critérios, são requeridos para cada cargo, permitindo que a empresa capacite e contrate funcionários adequadamente. Assim, a empresa também otimiza seus custos relacionados a salários e treinamentos feitos. Para uma eficiente definição dos níveis requeridos para cada função, é preciso que os níveis de perigo e de segurança da instalação sejam determinados de acordo com o inventário de produtos perigosos, histórico de acidentes e análises de perigo e risco da instalação. Atualmente, esses níveis podem ser determinados tendo como referência as diretrizes do CCPS. (Carvalho Neto, 2017)

Na planta de Bhopal, ficou evidente que os trabalhadores não possuíam a instrução necessária da empresa. Dessa forma, o quadro de funcionários ficou pouco qualificado. Além disso, com a redução dos custos e, conseqüentemente, do número de funcionários, muitos trabalhadores passaram a desempenhar funções maiores do que sua qualificação. Ou seja, uma suposta matriz de competência da empresa também não foi respeitada.

A teoria de sabotagem criada pela Union Carbide evidencia a baixa capacitação dos funcionários, uma vez que funcionários com conhecimentos básicos do processo e da planta saberiam que o impacto da mistura de água com MIC não seria apenas financeiro. Concomitantemente, essa baixa capacitação também refuta a teoria da empresa, já que a remoção do indicador de pressão, o acoplamento da mangueira de água e a recolocação dos encaixes da tubulação minimizando qualquer evidência demandaria uma alta qualificação. No entanto, os fatos citados não mostraram essas características dos operadores.

A Figura 15 exemplifica uma possível Matriz de Competência criada por uma empresa. Nela, os níveis de proficiência são divididos em 1 – conhecimento básico (verde); 2 – profissional praticante (amarelo); 3 – líder (vermelho). Dessa forma, a empresa foca em atingir esses níveis nos treinamentos executados para cada tipo de função. Quanto às qualificações, teve-se como base os quatro pilares da estrutura RBPS. (Carvalho Neto, 2017)

**Figura 15 – Exemplo de Matriz Tridimensional de Competência.**

Exemplo de Matriz Tridimensional de Treinamento		Cargo	Produção		Manutenção		Engenharia		Administrativo	
			Operador	Supervisor de Operações	Coordenador de Manutenção	Técnico em Manutenção	Engenheiro de Processo	Engenheiro de Automação	Diretor Industrial	Analista de RH
Pilares de Segurança de Processos CCPS	Cursos de Treinamento									
Comprometimento com Segurança de Processos	Competência em Segurança de Processo		L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3
	Segurança de Processo para Stakeholders		L1	L1	L1	L1	L1	L1	L3	L1
Compreender Perigos e Riscos	Análise Qualitativa de Riscos		NR	NR	NR	NR	L3	L1	L1	NR
	Análise Quantitativa de Riscos		NR	NR	L1	NR	L2	NR	L1	NR
Gerenciar Riscos	Integridade e Confiabilidade de Ativos		NR	NR	L3	L3	L2	L3	NR	NR
	MOC (Gerenciamento de Mudanças)		L1	L1	NR	L1	L2	L1	NR	NR
Aprender com a Experiência	Métodos de Investigação de Acidentes		L1	L1	L2	L2	L3	L1	NR	NR
	Gerenciamento de Indicadores de Segurança de Processos		L1	L1	NR	NR	L3	NR	L3	NR

Fonte: O próprio autor, 2020.<sup>2</sup>

Algumas outras ações podem ser citadas como uma forma de facilitar o desenvolvimento deste elemento. Para isso, a empresa precisa estar focada em aprender, de modo que crie planos de aprendizados, além de organizações de aprendizagem no seu ambiente interno. É interessante que a empresa sempre tenha seus objetivos claramente estabelecidos e que as pessoas que mais cumprem esses objetivos sejam premiadas, promovendo uma competição benéfica para a empresa.

No entanto, a consciência de que erros vão acontecer é primordial, porém, mais primordial ainda é que toda a organização aprenda com eles, se desenvolvendo e evitando novos erros semelhantes. Nesse ponto, este elemento trabalha lado a lado com o pilar Aprender com a Experiência. Algumas atividades que ajudam a manter e evoluir a competência em segurança de processos em uma organização são, por exemplo, eleger um superior de tecnologia; documentar o conhecimento adquirido e aplicado; garantir a informação acessível, além de estar sempre atualizando-a; demandar conhecimento proveniente de fontes externas etc. (CCPS, 2014)

<sup>2</sup> Criada pelo próprio autor com base em Guidelines for Risk Based Process Safety, CCPS, 2007.

Normalmente, sistemas de gestão eficazes lançam mão do chamado Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), ou seja, planejam um projeto, o aplicam, checam sua funcionalidade e agem com ações corretivas em possíveis erros. Assim, em sistemas de gestão de segurança de processos isso não deve ser diferente, sendo de suma importância as duas etapas finais desse ciclo. Então, estar, periodicamente, checando a competência da empresa nesse quesito e corrigindo possíveis falhas, é a maneira mais recomendada para que essa competência alcance o nível desejado.

Para isso, é importante que a empresa tenha métricas que mostrem a frequência com que acidentes ocorreram devido à falha de conhecimento e que indiquem as horas que os líderes em gerenciamento de segurança de processos dedicaram ao apoio às unidades operacionais. Dessa forma, a empresa garante o controle e, por fim, a aplicação de forma coerente daquilo que foi aprendido. Novamente, nenhuma dessas características foram evidenciadas no dia a dia da planta de Bhopal. Com isso, a desqualificação dos funcionários também prejudicou a tentativa de mitigação das consequências. O rápido desligamento do alarme de aviso de emergência à cidade para não causar pânico, supostamente, desnecessário demonstra desconhecimento dos operadores do que se passava na planta.

### **3.3.4 Envolvimento da Força de Trabalho**

O envolvimento da força de trabalho é mais um elemento essencial para o pilar de comprometimento com segurança de processos. Para que todos os outros elementos desse pilar sejam eficientes, é necessário o envolvimento total da força de trabalho que, em quantidade, representa a maior fatia da empresa. De fato, existem funcionários dos mais diversos escalões dentro de uma organização, no entanto, o seu envolvimento com as questões de segurança de processo precisa ser elevado, com cada um desempenhando o seu papel e suas responsabilidades, garantindo a segurança em todas as operações da empresa. Então, a ativa participação dos trabalhadores é fundamental para o desenvolvimento, implementação e contínua melhora do sistema de gestão proposto pelo RBPS. (CCPS, 2014)

Considerando todas as áreas de uma companhia, tem-se uma enorme gama de pessoas e situações diferentes espalhadas pelo ambiente da empresa. Assim, para assegurar esse envolvimento da força de trabalho em todos os âmbitos de uma organização, a empresa pode tomar algumas atitudes para garantir a constante implementação de suas ideias, como estar cercada de funcionários competentes; conduzir as atividades de trabalho, proporcionando as condições necessárias para os funcionários; sempre monitorar e assegurar a

efetividade desse envolvimento dos colaboradores; promover, frequentemente, o programa de envolvimento da força de trabalho que a empresa possui, sempre publicando e dando os devidos créditos aos funcionários quanto ao sucesso do programa e aos objetivos alcançados. (CCPS, 2014)

Como apurado durante os estudos feitos, o sistema de segurança de processos da planta de Bhopal era praticamente inexistente. Consequentemente, não havia o envolvimento necessário da força de trabalho em relação à segurança de processos e, muito menos, programas dentro da empresa que estimulassem esse elemento. Um exemplo que comprova o citado é a naturalidade com que os operadores da planta aprenderam a agir frente aos pequenos vazamentos de tubulações e às negligências da empresa com os processos de segurança da planta.

Notadamente, esse não envolvimento acontece também por falhas da empresa. Funcionários de uma empresa privada possuem diversos motivos pessoais para aceitarem condições adversas de trabalho e não se rebelarem. Assim, a aceitação e o não envolvimento dos funcionários nas questões de segurança de processos advém, em grande maioria, do não envolvimento da própria empresa nesses quesitos primordiais.

### **3.3.5 Envolvimento dos Stakeholders**

Da mesma forma que a empresa precisa encontrar trabalhadores que estejam dispostos a honrar os valores da empresa, focando na segurança de processos, é de suma importância que a empresa encontre outras companhias ou organizações que acreditem que possam se beneficiar das operações dela. E, por consequência, irão apoiar sua ideia e tentativa de implantação de uma gestão eficaz de segurança de processos. Exemplos de *stakeholders* (partes interessadas nos negócios) de uma indústria química são: acionistas da empresa; compradores do produto; vizinhança ao redor da planta; governo local etc. É pertinente que a empresa esteja sempre mantendo suas relações com seus *stakeholders* e compartilhando os mais diversos tipos de informações sobre seus produtos, processos, planos e riscos. Isso acaba encorajando outras empresas a fazerem o mesmo, tornando o fluxo de informações alto e promovendo um maior envolvimento dos *stakeholders* e das diferentes indústrias dos setores. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, os principais *stakeholders* da Union Carbide envolvidos no acidente são o governo e a população local, em especial, a habitante das áreas mais próximas da planta. Os

fatos explicitados ao longo do trabalho evidenciam, com clareza, a fraca relação da empresa com seus *stakeholders*. A não estreita relação entre empresa, governo e povo indiano intensificou o crescimento populacional desorganizado e nas proximidades da área industrial, além de levar a não criação e divulgação de planos de emergência e evacuação para cenários acidentais. Com isso, a severidade de qualquer acidente que alcançasse as áreas externas da planta aumentou.

Além disso, grande parte das pessoas não estava ciente dos produtos químicos manejados na planta, das suas periculosidades e da possibilidade da ocorrência de uma reação descontrolada. Como justificativa, a empresa dizia que não queria causar preocupações desnecessárias à população, algo totalmente divergente do que as diretrizes do RBPS pregam. Como os aspectos negativos eram desconhecidos, apenas os positivos eram levados em consideração para as famílias indianas decidirem a localização de suas moradias, sendo mais um fator para a alta taxa de ocupação nas áreas mais próximas à planta.

Para uma efetiva comunicação e relacionamento entre a empresa e um *stakeholder* é preciso que a companhia saiba identificar seus *stakeholders* relevantes. Ao mesmo tempo é fundamental que saiba definir, apropriadamente, os projetos, os tipos de informação e as mensagens que deve compartilhar com cada um deles, de acordo com suas necessidades, os deixando a par das situações necessárias. Além disso, como em todos os outros elementos desse pilar, a empresa não deve apenas iniciar sua relação com seus *stakeholders*, mas deve estar sempre acompanhando essa relação, checando se as atividades prometidas no início estão sendo cumpridas e obtendo *feedback* deles. Assim, é interessante que a empresa esteja, constantemente, mostrando, às partes interessadas, sua preocupação com o gerenciamento do seu negócio e sempre documente as reuniões e encontros que tiver com eles. Desse modo, os registros do que a organização tem oferecido e da satisfação, ou opinião crítica, dos *stakeholders* são mantidos. (CCPS, 2014)

Na planta indiana, pode-se observar que a troca de informações não aconteceu, muito menos foi constante e com acompanhamento da relação pela empresa. Assim, informações sobre precauções de como minimizar os efeitos do gás tóxico, informações sobre a direção do vento também não foram divulgadas. Dessa forma, ao invés de se manter em casa tomando as devidas precauções para evitar ao máximo a troca de ar com o ambiente externo, a população foi, em pânico, às ruas, potencializando a ação tóxica do metil isocianato.



### **3.4. Compreender Perigos e Riscos – 2º Pilar**

Este é o segundo pilar para que uma empresa busque a excelência quando o assunto é a segurança de processos e o gerenciamento deste sistema. É fundamental para uma organização entender os perigos e riscos inerentes aos seus processos pois, assim, a empresa terá um maior embasamento, com mais informações, para a alocação de recursos da maneira mais efetiva possível. Dessa forma, a empresa consegue planejar e desenvolver projetos de operações de baixo risco, otimizando tanto seus gastos quanto seus lucros, ficando muito mais suscetível ao sucesso no longo prazo. (CCPS, 2014)

Para compreender melhor a importância deste pilar, seus dois elementos são demonstrados a seguir.

#### **3.4.1 Gestão do Conhecimento de Processo**

Um vasto conhecimento de processo é primordial para que seja possível a identificação dos perigos e análises de riscos, sendo por esta razão que esses dois elementos estão no mesmo pilar. A gestão desse conhecimento é, sobretudo, as ações da empresa para desenvolver, documentar e manter o conhecimento dos processos realizados, sendo basicamente, a maneira com que uma organização coleta informações. Este conhecimento fica concentrado, principalmente, na compilação e catalogação de documentos técnicos, cálculos de engenharia e registros das especificações do projeto, da fabricação e dos equipamentos do processo, de modo que essas informações estejam sempre disponíveis a quem desejar. No entanto, o conhecimento, e sua gestão, não se trata apenas de compilação de dados, mas sim de ter competência para entendê-los e saber aplicá-los. Por esse motivo, o elemento competência em segurança de processo complementa o elemento gestão do conhecimento de processo. (CCPS, 2014)

Como já visto, o elemento competência em segurança de processos era bastante falho na planta de Bhopal. Consequentemente, por terem uma forte correlação, o mesmo pode-se citar em relação ao gerenciamento desse conhecimento. Para uma gestão eficiente do conhecimento de processo, a Union Carbide precisaria estabelecer uma prática confiável e recorrente dessa coleta de informações sobre o processo, sempre documentando reatividades químicas e seus riscos de incompatibilidade. Assim, garantiria que essas informações estivessem disponíveis para pessoas competentes na empresa que saberiam quais ações tomar com os dados coletados. Outro ponto primordial que deveria ter sido aplicado é a catalogação

desses conhecimentos de modo organizado e de fácil disponibilidade, permitindo o livre acesso a esses dados quando necessário.

Para isso, era igualmente fundamental que a empresa fornecesse uma estrutura para seus funcionários, de modo que o conhecimento fosse protegido da perda de informações e os documentos fossem guardados em bancos de dados confiáveis cujo acesso seria rápido e simples. Sabe-se que, nas décadas de 70 e 80, não existiam mecanismos tão eficazes nem bancos de dados tão robustos como os atuais para compilação dos mais diferentes dados. No entanto, pode-se perceber que as condições para armazenamento das informações do processo não eram ideais. Dessa forma, a perda de informações durante trocas de turno, por exemplo, era algo mais provável de acontecer. O não conhecimento dos operadores do turno da noite de que o *slip blind* não estava inserido para a realização da lavagem de rotina é um exemplo de perda de informações entre turnos causada por falhas na comunicação interna e gestão do conhecimento do processo.

Com o objetivo de proteger essas informações, a organização pode criar controles e limites de acessos a documentos antigos e garantir que somente os responsáveis superiores podem alterar essas informações, registrando as mudanças e os motivos para tal. Dessa forma, a empresa se assegura que seus dados estão protegidos e suas atualizações documentadas, não causando insegurança nos funcionários na realização de alguma tarefa por não terem a certeza de que os documentos estão atualizados e corretos. Para que todo esse investimento na coleta, proteção e atualização dos dados traga, de fato, benefícios para a indústria, a empresa deve assegurar o treinamento dos seus funcionários para que saibam qual informação está disponível e a sua importância, como acessar esses dados, quais ações tomar quando uma alteração no processo for feita e como atualizá-las de modo a preservar a política que rege o documento. Com isso, a empresa garante a sensibilização das pessoas envolvidas no processo e, com constante acompanhamento, garante que a utilização dessas informações preserva sua utilidade para as tomadas de decisões. (CCPS, 2014)

### **3.4.2 Identificação de Perigos e Análises de Risco**

A identificação de perigos e análises de riscos – *Hazard Identification and Risk Analysis* (HIRA) – é o elemento principal desse pilar. Conforme (CCPS, 2014) HIRA significa “um termo coletivo que engloba todas as atividades envolvidas na identificação de perigos e na avaliação de riscos nas instalações, ao longo do seu ciclo de vida, para garantir que os riscos para os funcionários, população e meio ambiente sejam controlados de forma

consistente dentro da tolerância a riscos da organização.” Para o completo entendimento dos riscos atrelados a um processo industrial a empresa deve se questionar das seguintes formas:

- I. Quais os perigos ou fontes deles?
- II. O que pode dar errado e como (cenários acidentais possíveis)?
- III. Quais as consequências de cada cenário?
- IV. Quais as chances de eles acontecerem?

Existem diferentes técnicas de identificação de perigos e análises dos riscos. Uma bastante disseminada nas mais diversas indústrias químicas é o HAZOP – *Hazards and Operability* ou Estudo de Perigos e Operabilidade. Essa é uma técnica de análise qualitativa, pois considera tanto a severidade quanto a frequência, em categorias qualitativas, para identificar os riscos dos sistemas analisados. Esse estudo se inicia com a análise dos documentos do processo como, por exemplo, análises de risco anterior, fluxograma e descrição de processos e folha de produtos envolvidos na produção. Então, o processo é dividido em subsistemas (Nós), seguindo um procedimento que gera perguntas estruturadas e sistemáticas por meio de um conjunto de palavras-guias predefinidas associadas às variáveis do processo. Exemplos de palavras-guias, parâmetros e desvios são vistos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Parâmetros, palavras-guia e desvios.**

Parâmetro	Palavra-guia	Desvio
Fluxo	Não Menor Maior Reverso	Sem fluxo Menos fluxo Mais fluxo Fluxo reverso
Pressão	Menor Maior	Pressão baixa Pressão alta
Temperatura	Menor Maior	Baixa temperatura Alta temperatura
Nível	Menor Maior	Nível baixo Nível alto

Fonte: CETESB, Norma Técnica P4.261, 2011.

É de suma importância que os Nós sejam selecionados com precisão, de modo que não sejam tão abrangentes nem tão minimamente específicos. Dessa forma, importantes casos específicos não deixarão de ser analisados como deveriam e o trabalho será otimizado, impedindo que haja perda de tempo ao analisar subsistemas similares. Com os Nós selecionados e os desvios determinados, deve-se explicitar as causas do desvio, as salvaguardas existentes capazes de prevenir os desvios ou mitigar seus efeitos e as

consequências caso o desvio seja inevitável. A Tabela 3 representa um modelo de planilha para HAZOP.

**Tabela 3 – Exemplo de planilha para HAZOP.**

Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causas	Efeitos	Observações e recomendações

Fonte: CETESB, Norma Técnica P4.261, 2011.

Feito isso, a empresa determina a frequência e severidade do desvio qualitativamente e, assim, com base na matriz de aceitabilidade de risco – como visto no exemplo da Tabela 4 – a empresa determina a categoria de risco atrelada a cada cenário. Cada empresa pode possuir uma matriz de risco diferente, desde que esteja dentro da legislação vigente do país em que a planta opera.

**Tabela 4 – Matriz de Risco.**

Matriz de Aceitabilidade		FREQUÊNCIA				
		IMPROVAVEL	REMOTO	OCASIONAL	PROVAVEL	FREQUENTE
		<p>Em plantas existentes ou projetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruptura por falha mecânica de vasos de pressão com inspeção e testes periódicos nos sistemas de proteção. Sem histórico de sobrecarga de pressão, temperatura ou vibração, sem histórico de comprometimento por trincas ou perda de espessura.</li> <li>- Falha de vários sistemas de proteção.</li> <li>- Erro humano:</li> <li>- Múltiplas falhas humanas em condições adequadas, com treinamento e procedimento.</li> </ul>	<p>Em plantas existentes ou projetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha dupla de equipamentos.</li> <li>- Ruptura de equipamentos estáticos, linhas e acessórios sujeitos a inspeção.</li> <li>- Falha de componente eletrônico.</li> </ul> <p>Erro humano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dupla falha humana em condições adequadas de ergonomia com treinamento e procedimento.</li> </ul>	<p>Em plantas existentes ou projetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha única de equipamento em bom estado de operação e manutenção.</li> </ul> <p>Erro humano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cenários que dependem de falha única, humana em condições adequadas de ergonomia, com treinamento e procedimento.</li> </ul>	<p>Em plantas existentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de ocorrência menor que 1 por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer e nenhuma alteração feita no sistema.</li> <li>- Ruptura ou quebra de equipamentos reconhecidamente degradados ou com inspeção deficiente.</li> </ul> <p>Em projetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de ocorrência menor que 1 por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer em empreendimentos similares.</li> <li>- Erro humano:</li> <li>- Erro humano por inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adequadas.</li> </ul>	<p>Em plantas existentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de uma ou mais ocorrências por ano e nenhuma alteração feita no sistema.</li> </ul> <p>Em projetos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de uma ou mais ocorrências por ano em empreendimentos similares.</li> <li>- Erro humano:</li> <li>- Atividade frequente com inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adversas.</li> </ul>
Faixa de Frequência Associada =		( $>1.000.000$ anos)	( $10.000 < f \leq 1.000.000$ anos)	( $100 < f \leq 10.000$ anos)	( $1 < f \leq 100$ anos)	( $f \geq 1$ ano)
SEVERIDADE	CATASTRÓFICA	MÉDIO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	MÉDIO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	NÃO ACEITO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	NÃO ACEITO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	NÃO ACEITO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR
	CRÍTICA	MÉDIO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	MÉDIO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	MÉDIO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	NÃO ACEITO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR	NÃO ACEITO 1. Vulnerabilidade 2. Semi quantitativa 3. Se Risco NAC: AQR
	MODERADA	ACEITO	ACEITO	ACEITO	MÉDIO Recomendação	NÃO ACEITO Recomendação com ação imediata
	BAIXA	ACEITO	ACEITO	ACEITO	ACEITO	MÉDIO Recomendação

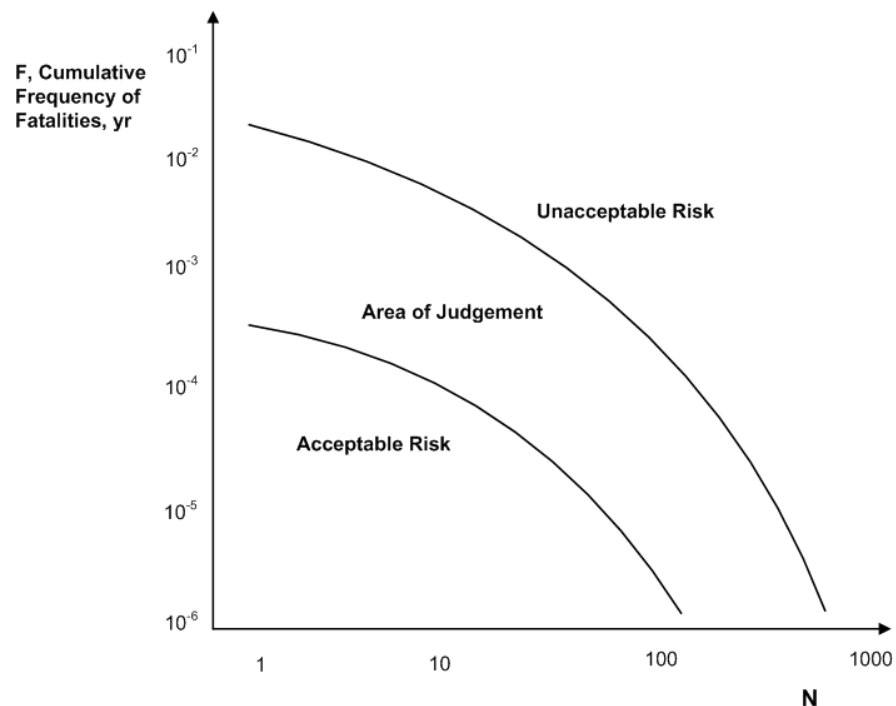
Fonte: Diário Oficial – Resolução CEPRAM Nº 4.578, 2017.

Como pode ser visto na Tabela 4, a matriz de risco o divide em três categorias: risco aceitável (verde), risco moderado (amarelo) e risco inaceitável (vermelho). Caso o cenário

analisado esteja na região verde da matriz, não é necessária a elaboração de medidas pois o baixo risco leva à aceitação do cenário. Caso esteja na região amarela, cria-se um alerta na empresa. Assim, a organização pode atuar realizando um outro estudo de risco que avalie a frequência e severidade do cenário de forma quantitativa, diferentemente do HAZOP. Por fim, caso o cenário analisado esteja na região vermelha, a empresa deve, obrigatoriamente, elaborar recomendações, observações e medidas para reduzirem a frequência ou severidade do cenário, trazendo o risco para um patamar aceitável.

Um termo bastante utilizado pelas indústrias químicas que demonstra esse patamar aceitável de risco é o ALARP – *As Low As Reasonably Practicable*. Com ele, fica definido, a partir de um gráfico quantitativo da frequência de acidentes *versus* o número de fatalidades, como o representado a seguir na Figura 16, as situações em que a empresa aceita o risco, começa a dar mais atenção ao cenário ou não tolera o risco. Ou seja, algo similar às regiões verde, amarela e vermelha da Tabela 4, respectivamente.

**Figura 16 – Exemplo de Gráfico ALARP.**



Fonte: Sutton Books, 2011.

A análise do HAZOP teve seu desenvolvimento preliminar em 1960 e a primeira publicação em 1974 em um estudo para determinar as falhas que levaram ao acidente de Flixborough, Inglaterra, que ocorrera no mesmo ano. (HERRERA *et al.*, 2018) Assim, essa era uma das técnicas possíveis de ser utilizada em Bhopal. Não há evidências de quais

técnicas e estudos de análises de riscos eram utilizados pela Union Carbide. No entanto, ficou claro que a frequência com que eram feitos não era satisfatória. Ou então, caso a UCC comprovasse que fossem feitos com frequência, o monitoramento da aplicação das conclusões geradas pelos estudos não era satisfatório. Como justificativa desta afirmação, pode-se citar a continuação das operações da planta sem que os principais equipamentos de segurança de processos estivessem operando.

Sendo assim, a UCC falhou ao não realizar esses estudos concomitantemente aos gerenciamentos de mudanças – MOC's – durante as diversas modificações que tiveram na planta ao longo dos anos de operação. Casos que exemplificam essas mudanças e que implicariam em novos estudos para análise dos riscos e da segurança de se operar nas novas condições são a criação da *jumper line*, a continuação das operações sem o funcionamento do *flare* e do *vent gas scrubber*.

Além disso, pode-se perceber falhas nos estudos efetuados antes mesmo do início das operações da planta de Bhopal. A planta foi superdimensionada, em relação a demanda de produto, nos equipamentos para produção do pesticida e armazenamento de intermediário e subdimensionada em equipamentos de segurança de processos como o lavador de gás e os canhões externos de água. Assim, estudos eficientes de análises de riscos feitos até mesmo após o início das operações acarretariam na redução de armazenamento de intermediários perigosos e em investimentos nos equipamentos capazes de evitar e mitigar grandes cenários acidentais.

Outra técnica mais atual, desenvolvida já no século XXI e bastante conhecida, é a LOPA – *Layer of Protection Analysis* ou Análise de Camadas de Proteção. Essa técnica analisa as IPL's (*Independent Protection Layer* ou Camada de Proteção Independente). Sua criação evidencia o constante desenvolvimento das técnicas de análises de riscos inerentes aos processos químicos. De acordo com (CCPS GLOSSARY, 2020), uma IPL significa “um dispositivo, sistema ou ação capaz de impedir que um cenário prossiga para a consequência indesejada, sem ser afetado adversamente pelo evento iniciador ou pela ação de qualquer outra camada de proteção associada ao cenário.”

A utilização da metodologia LOPA pode ser complementar à análise do HAZOP pois é um estudo semiquantitativo capaz de avaliar os cenários de riscos. É dito semiquantitativo pois utiliza uma frequência quantitativa ( $f^C$ ), normalmente calculada com dados da literatura referentes à frequência do evento iniciador ( $f^I$ ), com a Probabilidade de Falha na Demanda

(PFD) das IPL's e os fatores modificadores, como por exemplo o tempo de exposição das pessoas ao cenário.

Vale ressaltar que a técnica LOPA não identifica perigos. Assim, os cenários avaliados são previamente identificados através de outra metodologia como, por exemplo, o HAZOP. Seu objetivo é avaliar estes cenários, considerando a severidade determinada qualitativamente por outros estudos e determinando a frequência quantitativa e, então, comparar com o critério de tolerabilidade de risco da empresa. Assim, por fim, o estudo busca concluir se as salvaguardas existentes são suficientes ou se salvaguardas adicionais são necessárias. Para a Union Carbide em Bhopal, essa técnica não poderia ser utilizada, uma vez que ainda não havia sido desenvolvida. Entretanto, vale o registro de uma técnica importante e bastante utilizada pelas indústrias químicas nos dias atuais.

A empresa deve assegurar que as atividades referentes à identificação e análise de riscos sejam recorrentes, realizando consistentes julgamentos e estudos dos riscos atrelados à operação, sempre verificando se essas práticas continuam efetivas. Para isso, é primordial que a empresa capacite seus funcionários, tendo trabalhadores competentes que atuem nessa área. Como visto, essas etapas não foram vivenciadas em Bhopal, sendo mais um conjunto de ações, ou falta delas, que serviram de eventos iniciadores do acidente de dezembro de 1984.

Com isso, percebe-se a forte correlação entre os mais diferentes elementos das diretrizes do RBPS. Vale ressaltar a importância de documentar as análises e estudos feitos, sempre comunicando interna e externamente estes resultados. Ademais, é preciso estar, constantemente, monitorando a planta para checar se as recomendações de alterações foram feitas e se, de fato, estão trazendo resultados e eficiência para a segurança de processo. (CCPS, 2014) Em Bhopal, a documentação das análises e monitoramentos não foram expostos detalhadamente, impulsionando a ideia de que houve negligência por parte da Union Carbide.

### **3.5. Gerenciar Riscos – 3º Pilar**

Após identificar os perigos e analisar os riscos inerentes a cada cenário, cabe à empresa saber gerenciar os riscos. Este é o terceiro pilar da estrutura RBPS, sendo fundamental para o sistema de gerenciamento de segurança de processos, de modo que o gerenciamento de riscos permite que a empresa mantenha a otimização da relação despesas *versus* eficiência das suas operações de baixo risco e, conseqüentemente, estas sejam ainda

lucrativas e de longo prazo. Assim, este pilar se concentra em três pontos: uma operação e manutenção prudentes de processos que apresentam riscos; gerenciamento das mudanças que ocorrem nos processos, de modo que estes se mantenham com um risco aceitável; preparação, resposta e gerenciamento dos acidentes que, inevitavelmente, ocorrem. (CCPS, 2014)

Para uma melhor compreensão deste pilar, seus elementos estão explicitados a seguir.

### **3.5.1 Procedimentos Operacionais**

O elemento procedimentos operacionais é aquele que, basicamente, garante o desenvolvimento satisfatório, manutenções pontuais e o constante uso dos procedimentos operacionais existentes na indústria de uma maneira segura. Estes procedimentos, normalmente, vêm em forma de instruções escritas, seja manual ou eletronicamente, que enumeram as etapas de uma determinada atividade e descrevem a maneira como tal atividade deve ser reproduzida. Vale ressaltar que esses procedimentos são limitados às atividades operacionais da empresa, sendo as tarefas necessárias para iniciar, operar e encerrar um processo com segurança. (CCPS, 2014)

Existem empresas que adotam um sistema de gestão mais eficiente e detalhado. Nesses casos, os procedimentos operacionais descrevem o processo, perigos inerentes, ferramentas necessárias, equipamentos de proteção a serem utilizados e os controles de processo a serem monitorados com maior detalhamento. Todavia, é primordial que apenas os detalhes necessários nos procedimentos sejam evidenciados pois procedimentos com muita informação desnecessária são difíceis de pôr em prática.

O objetivo principal é que os trabalhadores entendam todos os riscos e sejam capazes de verificar se os controles estão funcionando e se o processo está se desenvolvendo sem imprevistos. Percebe-se, em Bhopal, que falhas foram cometidas no não detalhamento desses procedimentos operacionais, concomitantemente à falta de instrução e treinamento para os funcionários. Com isso, operadores demoraram para identificar a magnitude do cenário acidental no primeiro momento que perceberam o vazamento.

É fundamental que esses procedimentos façam referência às informações de riscos e perigos divulgadas pela empresa, explicitando as consequências sofridas quando há desvio da conduta recomendada e mostrando as devidas instruções para solucionar casos de possíveis desvios no processo. Na planta da Union Carbide, os operadores, além de demorarem na



identificação da magnitude do vazamento, não souberam como proceder ao perceberem tal dimensão. Assim, realizaram a descarga de apenas uma tonelada de metil isocianato para o tanque anexo e prontamente desligaram o alarme que alertaria a população com maior antecedência. Esse fato evidencia, além do despreparo e da já citada não competência em segurança de processos, a falta de procedimentos operacionais documentados e aplicados, pela empresa, para os mais diversos cenários vivenciados em uma planta industrial.

Os procedimentos operacionais são, normalmente, usados para controlar atividades rotineiras de uma planta como, por exemplo, a limpeza periódica de um equipamento ou área do processo, situação semelhante a que ocorrera na planta industrial de Bhopal. Entretanto, estes procedimentos não devem existir apenas para os processos mais operados na indústria. Ou seja, também devem especificar a maneira de se operar a planta quando existem situações excepcionais onde é necessário realizar um desligamento de emergência. Ou, então, quando manutenções temporárias em um equipamento defeituoso estão ocorrendo e alterações no processo precisam ser feitas para que a planta mantenha suas operações neste período, por exemplo.

Conforme (CCPS, 2014), para que esse elemento seja bem desenvolvido dentro de uma organização, a empresa deve assegurar que os procedimentos operacionais estão bem documentados, precisos e são seguidos de forma consistente pelos trabalhadores. Essa consistência permite que se obtenha um padrão nos resultados do processo, tornando mais fácil a ação de engenheiros de processos para desenvolverem projetos de otimização desses procedimentos. Ou seja, exatamente o contrário do ocorrido na planta de Bhopal.

Além disso, é importante que estes procedimentos estejam em um formato apropriado e com suas informações bem claras, de modo que qualquer trabalhador recém contratado possa realizar as tarefas, entender os riscos e saber como agir em situações de perigos. Ademais, estes procedimentos devem ser de fácil acesso aos operadores e ser validados com certa frequência, sempre checando se os resultados estão dentro do esperado e corrigindo possíveis falhas, diferentemente do que foi apurado na planta da UCC. (CCPS, 2014)

### **3.5.2 Práticas de Trabalho Seguro**

As práticas de trabalho seguro formam mais um elemento do RBPS. Os procedimentos praticados em uma indústria são, normalmente, divididos em procedimentos

operacionais, relacionados à produção de um produto, procedimentos de manutenção, relacionado aos testes e consertos de equipamentos e os procedimentos de trabalho seguro, que complementam os dois outros procedimentos. Este elemento tem seu foco no controle de riscos em tarefas associadas tanto à manutenção quanto a operações não rotineiras dentro de uma indústria. (CCPS, 2014)

Para um eficiente desenvolvimento deste elemento, a empresa deve desenvolver, descrever e documentar, com detalhamento suficiente, a esfera de ação dessas práticas, de modo que os trabalhadores tenham a consciência da importância dessas tarefas. Essa consciência e aplicação das tarefas provém de treinamentos e capacitações, proporcionando uma maior competência em segurança de processos aos funcionários e, conseqüentemente, à empresa. Assim, percebe-se que grande parte dos elementos do RBPS são interligados e interdependentes. Da mesma forma, as já citadas falhas nas práticas realizadas pelos funcionários após a identificação do acidente de Bhopal demonstram erros da empresa em diferentes elementos interligados do RBPS.

De acordo com (CCPS, 2014), também é importante que a organização, antes de apresentar aos funcionários, tenha identificado quais procedimentos de trabalho seguro devem ser implementados a cada atividade não rotineira específica e crie um sistema que facilite o acesso a essas informações por parte dos operadores. Após isso, a empresa deveria definir quais papéis e responsabilidades os funcionários possuem, os capacitando, por meio de treinamentos, para uma efetiva implementação destas atividades. Os procedimentos de trabalho seguro também deveriam ser constantemente aplicados e, cabe à empresa, realizar, frequentemente, a checagem da sua implementação e sua efetividade, realizando mudanças nas atividades e novos treinamentos em casos de necessidades. (CCPS, 2014)

A continuação das operações com equipamentos – VGS, sistema de resfriamento e *flare* – fora de serviço são exemplos de momentos que evidenciam a falta da cultura de manutenção dentro da planta. No entanto, por este elemento estar totalmente interligado às atividades não rotineiras da planta e tarefas de manutenção, percebe-se que as Práticas de Trabalho Seguro não se aplicam em Bhopal, uma vez que, de acordo com os fatos observados, serviços de manutenção não eram testemunhados na planta indiana. Além disso, a Union Carbide deveria identificar, a partir da realização de MOC's, as práticas seguras para a manutenção mais rápida possível destes equipamentos para, então, capacitar seus funcionários e operar no novo cenário. Mais uma vez, essa atividade está interligada a outro elemento do

segundo pilar do RBPS, nesse caso, o Gerenciamento de Mudanças que está apresentado a frente.

### **3.5.3 Integridade de Ativos e Confiabilidade**

O elemento de integridade de ativos e confiabilidade é aquele que, como o nome já evidencia, tem por finalidade assegurar que os equipamentos – ativos – tenham sido projetados corretamente com as necessidades da planta, instalados dentro das normas e com suas funcionalidades mantidas durante todo o seu período de uso. Assim, este elemento aparece em uma indústria nas implementações de atividades que garantirão a funcionalidade dos equipamentos e processos como, por exemplo, inspeções, testes e manutenções preventivas de máquinas e medidores de controle dos processos. (CCPS, 2014)

O objetivo principal da implementação destas atividades é impedir grandes acidentes dentro da indústria e garantir que os sistemas de segurança existentes na planta estejam íntegros e confiáveis para evitar, ou ao menos suavizar, os efeitos de eventos não controlados. Como visto, em Bhopal, essas atividades não foram aplicadas durante a vida útil da planta. Consequentemente, a integridade de importantes equipamentos de segurança de processos não era garantida, permitindo o rápido desenvolvimento do cenário catastrófico. Medidores de pressão e temperatura do tanque não confiáveis e inutilização do lavador de gás, do sistema de resfriamento e do *flare* por falta de manutenção são os principais fatores que comprovam a falha da Union Carbide na garantia da integridade e confiabilidade de seus ativos.

Para a implementação deste elemento com eficiência, é importante que os procedimentos de inspeções, testes e de manutenção preventiva (ITPM) sejam documentados e atualizados constantemente. É imprescindível que estes documentos possuam as orientações necessárias para a implementação e a execução destas atividades, de modo que cada trabalhador tenha seu papel e responsabilidade definidos claramente. Como em praticamente todos os elementos, a competência dos operadores é fundamental. Por isso, a empresa precisa estar sempre preocupada com a realização de treinamentos e capacitações dos seus empregados e novos contratados nas competências requisitadas por este elemento.

Além disso, é fundamental que a organização, primeiramente, identifique os equipamentos e sistemas primordiais para os sistemas de segurança da planta, para então desenvolver seus procedimentos capazes de manter a integridade e confiabilidade destes ativos. Novamente, nenhuma dessas atividades citadas para a implementação de um eficiente

sistema de gerenciamento de segurança de processos foram comprovadas em Bhopal. Com isso, os eventos iniciadores do acidente de 1984 foram acontecendo ao longo das operações da planta. Como exemplo do citado, tem-se as diversas válvulas defeituosas ao longo das tubulações que causavam pequenos vazamentos com certa frequência.

Vale ressaltar que, além da realização constante de inspeções, testes e manutenções preventivas, seria importante que os dados coletados nessas atividades fossem sempre arquivados. (CCPS, 2014) Dessa forma, a empresa garantiria informações suficientes para controlar a qualidade dos reparos realizados, perceber a existência de problemas mais generalizados, planejar novas atividades de manutenção preventiva, providenciar as ferramentas necessárias para essas tarefas e ajustar a frequência e os métodos das inspeções realizadas.

#### **3.5.4 Gestão de Contratados**

O elemento gestão de contratados aparece em um sistema de gestão nas atividades cujo objetivo é a implementação de práticas e rotinas capazes de garantir a segurança do processo durante a execução de tarefas específicas pelos trabalhadores contratados. Este elemento tem seu foco nos trabalhadores terceirizados, que são contratados via uma outra empresa, para a realização de atividades mais específicas, e até mais perigosas, dentro da planta como, por exemplo, manutenção de equipamentos. Por essa ser uma prática muito comum dentro da indústria química e pela grande chance de a equipe contratada não ter a familiaridade esperada com os padrões, riscos e operações da planta, este se tornou um importante elemento de gestão de segurança de processos que permite que os riscos operacionais não sejam intensificados pela contratação desses trabalhadores. (CCPS, 2014)

Esse elemento se baseia na seleção, aquisição, uso e monitoramento efetivos desses serviços contratados. Para isso, a empresa precisa, primeiramente, identificar quais atividades precisam ser terceirizadas, quais responsabilidades de segurança precisam ser assumidas durante o contrato e selecionar trabalhadores cujo treinamento é constante e o histórico de desempenho em segurança de processos é satisfatório. Posteriormente, é fundamental que as normas e padrões de segurança estejam bem especificados também para esses trabalhadores e, então, a empresa monitore, frequentemente, as tarefas realizadas por eles para garantir a segurança e a efetividade das atividades terceirizadas. Ao fim dos contratos, é interessante que os contratantes sempre avaliem seus contratados para que informações suficientes estejam disponíveis na hora de novas contratações. (CCPS, 2014)

Este elemento não possui relação com o acidente de Bhopal, uma vez que não foi constatada a existência de terceirização de atividades que tivesse influenciado o cenário acidental.

### **3.5.5 Treinamento e Garantia de Desempenho**

O elemento de treinamento e garantia de desempenho é, provavelmente, o mais citado durante toda a estrutura RBPS, sendo um dos que mais complementa os outros elementos. Por este fato, também já foi bastante citado como um dos principais pontos falhos da Union Carbide durante os anos de operação em Bhopal. Este elemento se baseia nas atividades que trariam um treinamento para os trabalhadores e uma garantia de performance em tarefas cruciais do processo, principalmente, relacionadas à segurança de processos. Como visto, essas atividades não tiveram sua devida importância na planta da UCC. Em razão disso, pode-se considerar que o baixo desenvolvimento em treinamento e garantia de desempenho foi um dos mais impactantes eventos iniciadores do acidente de 1984.

O treinamento, como uma instrução prática sobre requisitos e métodos sobre tarefas a serem realizadas, tem como objetivo fornecer material e conhecimento suficiente para os trabalhadores cumprirem padrões mínimos de desempenho inicial, manterem sua eficiência nas atividades ou se qualificarem para uma posição que exija mais responsabilidade e conhecimento. A parte do desempenho a ser garantido se trata de quando os trabalhadores demonstram que absorveram o conhecimento dos treinamentos e são capazes de aplicá-los em situações práticas. (CCPS, 2014)

Para garantir isto, é preciso que o processo seja continuamente monitorado, assegurando, assim, que os funcionários estejam dentro dos padrões de desempenho determinados pela empresa e, então, também seja possível identificar onde é indispensável a realização de treinamentos adicionais. Sendo assim, este elemento tem forte correlação com os níveis exigidos pela matriz tridimensional de competências, exemplificada na Figura 15.

A criação de programas que aproximem os trabalhadores das ideias da empresa relacionadas à treinamento e capacitação é fundamental. Porém, tão importante quanto, é documentar os treinamentos, explicitando as atividades treinadas, os retornos esperados e os resultados que, de fato, ocorreram com cada trabalhador. Dessa forma, a empresa deve estar sempre validando esses programas e arquivando seus documentos.

Para que recursos não sejam direcionados de maneira ineficiente, a empresa deve, primeiramente, identificar quais tarefas desviam do padrão esperado e definir a melhor maneira de realizar o treinamento, desenvolvendo materiais, assegurando sua viabilidade e disponibilidade e considerando o tempo de aplicação do mesmo. Assim, a empresa deve aplicá-los naqueles grupos mais necessitados e, por fim, monitorar, constantemente, o desempenho dos trabalhadores, revisando as qualificações necessárias para cada área de trabalho e testando seus funcionários periodicamente. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, não foi constatada a existência desses programas de treinamento e de processos rígidos de monitoramento das competências dos funcionários, mesmo antes das reduções de custos ocasionadas pela baixa demanda do pesticida. Assim, diversos erros dos operadores e funcionários da planta tiveram como causa a falta de capacitação dos próprios. Como exemplos, tem-se a existência de funcionários desempenhando cargos mais altos que suas competências permitem, a demora na identificação da magnitude do cenário acidental e falhas nas atividades mitigadoras do acidente, como a descarga de apenas 1 tonelada de MIC e o pronto desligamento do alarme de aviso de emergência à população etc.

### **3.5.6 Gerenciamento de Mudanças**

O elemento gerenciamento de mudanças, em inglês *Management Of Change* (MOC), é aquele responsável por garantir que todas as mudanças propostas com base nos outros elementos não sejam prejudiciais ao processo produtivo quando implementadas, criando novos perigos ou aumentando os riscos já existentes. Assim, esse elemento inclui na empresa um processo de revisão, avaliação, autorização e preparação para realização das mudanças propostas. Além disso, é responsabilidade do MOC criar atividades que notifiquem as partes interessadas potencialmente afetadas com as mudanças e garantir que os documentos referentes às alterações no processo, como os novos procedimentos e conhecimentos de segurança de processo, sejam atualizados. (CCPS, 2014)

Estas mudanças podem ser tanto organizacionais, referentes à troca de funcionários, quanto referentes às instalações e tecnologias do processo. Em Bhopal, a pressão governamental para que as operações da planta continuassem acarretou na redução de custos que, por consequência, acarretou na menor frequência de atividades de manutenção e inspeção de equipamentos e na redução do quadro de funcionários. O cenário de menor quantidade de funcionários, com trabalhadores não qualificados o suficiente para desempenhar determinadas funções evidenciava uma clara necessidade da realização de

MOC's organizacionais. A menor quantidade de ITPM ocasionou mudanças nas instalações responsáveis tanto pelo processo quanto pelo monitoramento do mesmo. Ou seja, as operações continuaram com importantes equipamentos – VGS, sistema de resfriamento e *flare* – fora de serviço. Dessa forma, essa mudança de conjuntura nas atividades operacionais da planta também demandava a realização de MOC's para garantir a segurança das operações.

Assim, concomitantemente a estudos de análise de riscos, a Union Carbide garantiria que todas as mudanças vivenciadas na organização da instituição e no processo produtivo da planta estariam dentro dos padrões de segurança necessários. Ou, caso não existisse a possibilidade de manter as operações da planta nesse contexto de baixa demanda, a empresa teria embasamento consistente o suficiente para mostrar ao governo que as pressões não eram suficientes para o prosseguimento das operações. No entanto, aparentemente, esses estudos não aconteceram, contribuindo para o prosseguimento das atividades industriais em Bhopal.

A falha da UCC na não realização de processos de MOC se torna crucial pois esses processos buscam identificar o potencial impacto de uma alteração e implementar as medidas necessárias para que as mudanças propostas sejam implementadas de modo a manter, ou melhorar, a segurança do processo. Além da redução dos riscos do processo, o MOC é fundamental para que a mudança seja efetiva, garantindo que as mudanças cumpram regulamentações e trazendo aumento de eficiência do processo. Assim, a não realização de MOC's também evidenciou a negligência da empresa no assunto segurança de processos.

É importante frisar que o processo de MOC não se aplica a toda mudança, sendo primordial para aquelas que envolvam cenários críticos ou catastróficos. Assim, era importante que a Union Carbide fizesse análises de risco eficazes para que alocasse, eficientemente, os escassos recursos para a realização de MOC's realmente necessários, como os citados acima.

Em um contexto geral, para que o gerenciamento de mudanças tenha um papel importante dentro de uma indústria química, é preciso que a empresa garanta uma constante implementação das práticas do MOC, sempre as mantendo as mais efetivas possíveis. Para isso, a existência de pessoal capacitado para essa área é fundamental. Dessa forma, os responsáveis devem ter a capacidade de identificar todas as situações potenciais de mudanças e então gerenciá-las de acordo com o sistema implementado pela empresa. É fundamental que a empresa forneça todas as ferramentas e informações necessárias aos responsáveis pelo MOC. (CCPS, 2014)

Assim, a empresa deve sempre garantir a criação de documentos bem detalhados para explicitar as propostas de mudanças, sendo algo primordial. As áreas da empresa devem estar interligadas, de modo que os responsáveis por gerenciar as mudanças devem ser as pessoas que exijam, ou não, a realização de novos treinamentos para os funcionários afetados e atualização dos procedimentos operacionais, sempre assegurando que as informações sobre as mudanças sejam compartilhadas com toda a companhia. Por fim, cabe à empresa estimular que estes revisores e autorizadores de mudanças monitorem e acompanhem, continuamente, as alterações anteriormente autorizadas e implementadas, sempre atualizando os registros e informações sobre a mudança e os mantendo em lugar seguro e que facilite a conferência. (CCPS, 2014)

### **3.5.7 Prontidão Operacional**

Em linhas gerais, este elemento se baseia em garantir que os processos de uma planta industrial sejam inicializados de forma segura no momento que for requisitado, assegurando uma prontidão operacional. Assim, essa prontidão operacional permite que processos e equipamentos anteriormente desligados sejam verificados e estejam em condições para sua pronta reinicialização. Este elemento leva em consideração os motivos para qual houve o desligamento, quanto tempo durou até sua reinicialização e quais atividades podem ter sido realizadas durante esse período com o intuito de que a prontidão operacional se dê para todas as condições de desligamento possíveis, sendo um sistema eficaz. Para isso, é importante que a empresa tenha o discernimento de quando e onde implementar as atividades de prontidão, quais competências seus profissionais precisam ter e quais problemas técnicos são inerentes à situação. Assim, definindo essas métricas, é fundamental que a empresa crie e mantenha registros destas atividades, garantindo que o desempenho e a eficiência delas sejam periodicamente avaliados. (CCPS, 2014)

Para que os responsáveis pela revisão de prontidão de processos e equipamentos possam desempenhar sua função perfeitamente, é crucial que as informações referentes ao desligamento do processo/equipamento sejam facilmente disponibilizadas a eles e, além disso, a empresa forneça os recursos necessários para uma revisão de qualidade. Os resultados das revisões periódicas de prontidão operacionais devem ser bem divulgados pela empresa, de modo que os funcionários e todas as potenciais afetados por uma possível reinicialização tenham consciência da situação no momento. Assim, a organização garante o acesso às informações sobre o desligamento e quais as consequências de sua reinicialização, fazendo



com que operações somente sejam reinicializadas caso os resultados da revisão de prontidão estejam de acordo. Caso o fim do desligamento acarrete em mudanças nos processos de segurança da planta, é fundamental que estas modificações sejam atualizadas nos registros, garantindo que o controle de riscos permaneça efetivo. (CCPS, 2014)

Por este elemento estar relacionado a indústrias na qual as atividades de produção são sazonais, ou então o processo produtivo é em batelada, sua aplicação em Bhopal não é percebida.

### **3.5.8 Conduta de Operações**

Este elemento tem sua base em desenvolver e sustentar altos padrões impostos pela empresa na conduta de suas operações. Dessa forma, a sua ligação com os valores e culturas da empresa é muito forte, uma vez que os altos padrões são criados de acordo com essas ideias. Esta conduta se reflete na realização de atividades operacionais e de gerenciamento de uma maneira bem definida e organizada, sendo também conhecida como a disciplina operacional. O principal objetivo da implementação deste elemento em uma indústria é a busca pela excelência na realização de todas as tarefas – operacionais ou não – e a minimização das oscilações no desempenho que podem afastá-los dos altos padrões impostos. (CCPS, 2014)

As condutas a serem seguidas precisam ser documentadas e de fáceis disseminação e entendimento para os trabalhadores. Assim, cada um tem sua função e responsabilidade bem definida dentro do processo que faz parte. É primordial que os trabalhadores de todos os níveis cumpram suas funções com atenção, concentração e pleno conhecimento de suas responsabilidades. Então, cabe à empresa, mais uma vez, complementar esse elemento com treinamentos e monitoramentos periódicos das performances dos trabalhadores. Em Bhopal, não foram encontradas evidências de condutas bem documentadas, disseminadas e monitoradas à finco, gerando falhas em atividades comuns como a lavagem de tubulações do processo.

Um sistema de gestão com essas características, nas quais a Union Carbide não possuiu em Bhopal, permite uma grande e suficiente coleta de *feedbacks* para que a empresa possa controlar suas atividades e as efetividades delas quando comparadas aos padrões impostos. Além disso, para um controle efetivo das operações, a comunicação entre trabalhadores, de diferentes turnos ou não, precisa ser confiável e precisa, garantindo que as

informações e cuidados sobre as operações são passados adiante. Novamente, mais uma vez a UCC falhou em não garantir e monitorar essa comunicação eficaz entre trabalhadores, principalmente de turnos diferentes.

Dessa forma, conforme entrevistas, operadores do turno posterior disseram que não havia a instrução para inserir o *slip blind* antes da lavagem, apesar de haver a instrução de realizar o processo de lavagem. Assim, levando em consideração a teoria da lavagem de água, percebe-se que a falha de comunicação foi primordial para a não inserção do *slip blind* que impediria a água de alcançar os tanques de armazenamento de intermediário. Mesmo que essa teoria não seja verdadeira, esse fato permitiu evidenciar falhas no sistema de gerenciamento de segurança de processos da Union Carbide.

Para as operações em uma indústria química, é fundamental que o status de sistemas e equipamentos também sejam controlados. Dessa maneira, este elemento se correlaciona fortemente com os elementos Integridade de Ativos e Confiabilidade e Prontidão Operacional uma vez que a empresa deve sempre garantir que seus equipamentos e sistemas estejam adequados para que um trabalhador possa desempenhar seu papel na qualidade desejada. Como já exposto, apesar da Prontidão Operacional não se aplicar à planta de Bhopal, essas atividades citadas não foram garantidas pela Union Carbide.

Além disso, em linhas gerais, é importante que as máquinas do processo sejam projetadas de modo que a coleta de informações seja facilitada, permitindo assim, que se tenha o conhecimento sobre qual trabalhador operava certa máquina durante certo momento, por exemplo. Por fim, além das inspeções e monitoramentos de campo, é fundamental que as empresas implementem ações corretivas diante daqueles desempenhos que fogem dos padrões e revelam possíveis problemas nos sistemas de gerenciamento da empresa, garantindo a qualidade e eficiência deles. (CCPS, 2014) Ou seja, há também a correlação com o elemento de Treinamento e Garantia de Desempenho, algo pouco disseminado na planta da Union Carbide.

### **3.5.9 Gerenciamento de Emergências**

A ideia principal deste elemento em um sistema de gerenciamento de segurança de processos é desenvolver, adequadamente, a gestão de situações emergenciais e a capacidade de respostas que o processo pode dar frente a situações especiais de perigo. Dessa forma, este elemento tem forte correlação com o elemento de identificação de perigos e análises de riscos,

pois o *input* do gerenciamento de emergências é o *output* da identificação de perigos. Este elemento tem sua atuação na indústria ao estimular o planejamento da empresa para as situações emergenciais reveladas pelas pesquisas de cenários acidentais possíveis e ao garantir o fornecimento de recursos para executar o que foi planejado. Além disso, quando este elemento está bem desenvolvido, a empresa garante a execução e a contínua melhora do planejado e garante o treinamento e a comunicação efetiva para com os funcionários da empresa, terceirizados, população próxima e *stakeholders* em geral com o intuito de que todos saibam como agir caso um incidente venha a ocorrer. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, pode-se observar que o *input* para o desenvolvimento deste elemento já não era eficaz. Estudos de análises de perigos e riscos inerentes aos processos da planta não eram feitos com frequência. Consequentemente, a gestão das situações emergenciais e a capacidade para agir nessas condições não eram ideais. Assim, os operadores não eram qualificados o suficiente e não possuíam as condições necessárias para agirem corretamente no dia do acidente. Além disso, a comunicação entre empresa e *stakeholders* não se mostrou efetiva, vide a falta de informação que fez com que a população agisse inadequadamente e os hospitais não soubessem qual material havia vazado e quais procedimentos eram adequados para melhor recuperação.

Como as atividades de resposta a cenários emergenciais não são frequentes, é fundamental que a empresa tenha completa confiança e crença na efetividade dessas atividades. Em linhas gerais, o maior desafio para uma indústria química é garantir que seus planos de emergência abrangem os cenários críveis de perigo e realmente funcionem quando postos em prática. Para isso, é interessante, periodicamente, testar e simular algumas dessas respostas de emergência como, por exemplo, colocar em prática o plano de evacuação da empresa, e regiões próximas, para coletar informações e verificar o conhecimento e a atenção das partes interessadas em relação ao plano proposto, atuando corretivamente onde necessário. Além de criar e, constantemente, verificar os planos, cabe à empresa fornecer as diretrizes, materiais, documentos e equipamentos necessários para cada *stakeholder* ter todo o aparato disponível para seguir o plano e mitigar o risco inerente à situação. (CCPS, 2014)

### **3.6. Aprender com a Experiência – 4º Pilar**

Apesar de uma empresa se esforçar para que os três pilares anteriores sejam bem estruturados e implementados dentro da indústria, inevitavelmente algumas operações não irão ser realizadas conforme o planejado. Assim, este pilar se baseia em implementar uma

cultura de aprendizagem, de modo que a empresa esteja sempre monitorando informações e acontecimentos internos ou externos e aprendendo com eles. Ou seja, a empresa deve estar preparada para aprender com os erros próprios e de outras empresas, transformando pequenos incidentes internos, ou grandes acidentes internacionais, em oportunidades para aprimorar seus sistemas de segurança de processos e melhor gerenciar os riscos inerentes ao seu processo. Além do aprendizado, este pilar ajuda a empresa a sempre se recordar de acontecimentos e lições adquiridas previamente e aplicá-las no futuro. (CCPS, 2014)

Os elementos deste pilar estão descritos a seguir.

### **3.6.1 Investigação de Acidentes e Incidentes**

Este elemento se baseia em desenvolver, manter e sustentar a competência de uma organização relacionada à investigação de acidentes e incidentes previamente ocorridos na sua planta. Para que esta competência seja bem estabelecida, a empresa precisa contratar trabalhadores especialistas – e com suas habilidades testadas – na área de investigações, de modo que os acidentes possam ser facilmente identificados, investigados e relatados, sempre criando registros e recomendações a partir delas. Para isso, cabe à empresa desenvolver e garantir a prática de um processo formal de investigação de acidentes e incidentes de segurança de processos, além de estar, frequentemente, monitorando as atividades recomendadas para garantir que as orientações estão sendo seguidas. Também é fundamental que a empresa tenha mecanismos para gerenciar e guardar os relatórios e registros criados pelos investigadores, além de compartilhá-los com as empresas do setor. Com isso, é possível identificar quais as maiores tendências de eventos indesejados em uma planta industrial e quais os mais recorrentes, para assim, analisá-los e atuar corretivamente sobre eles. (CCPS, 2014)

Em relação aos anos em que a fábrica da Union Carbide manteve suas operações, ficou claro durante o estudo que falhas e pequenos incidentes eram mais frequentes na planta de Bhopal do que o comum de indústrias químicas. Assim, não faltaram oportunidades para que a empresa norte-americana pudesse aprender com a experiência, investigando acidentes e incidentes e criando medidas corretivas. Dentre as falhas vistas, a mais comum eram válvulas defeituosas que ocasionavam pequenos vazamentos de gases tóxicos como metil isocianato e fosgênio.

Diante deste cenário, um operador inalou gás fosgênio que, mesmo sendo menos tóxico que o metil isocianato, acabou levando o trabalhador à morte. Apesar desses eventos, a empresa não pareceu focar na investigação dos eventos iniciadores dos acidentes e na realização de estudos de análises de riscos para definir quais ações corretivas eram necessárias. Ou seja, apesar da recorrência dos cenários acidentais, a UCC não teve atitudes que evidenciasse a mudança de postura em relação à segurança de processos.

A Union Carbide deveria garantir que as investigações se iniciassem logo após estes acontecimentos, além de assegurar que as investigações fossem documentadas. Entretanto, não foram encontrados documentos convincentes das investigações e das medidas corretivas tomadas. Vale destacar que eventos como os supracitados aconteceram anos antes de 1984. Dessa maneira, a planta e seus sistemas operacionais e de gestão ainda não haviam sofridos com os cortes de gastos provenientes da redução da demanda do pesticida. Assim, pode-se perceber que, independentemente de qualquer cenário político-econômico vivenciado, a cultura de segurança de processos não era um valor da empresa, justificando assim, as falhas aqui apresentadas.

### **3.6.2 Indicadores e Monitoramento**

Este elemento tem como ideia principal a identificação e utilização de relevantes e eficientes indicadores de segurança de processos durante todo o período de operação da planta. Sua função é estabelecer indicadores capazes de realizar um monitoramento praticamente em tempo real do processo industrial e da efetividade e qualidade do sistema de gestão, explicitando desvios indesejáveis. Além disso, a função deste elemento é que a empresa monitore as tarefas realizadas na planta e todas as atividades propostas pela estrutura RBPS. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, a existência de um monitoramento consistente com indicadores em tempo real parecia ser uma utopia no cenário dessa instalação. Problemas e melhorias eram negligenciados, equipamentos iam se depreciando e conhecimentos iam ficando desatualizados sem que a empresa possuísse indicadores que medissem o desempenho da planta. Assim, ficou evidente a não devida utilização de indicadores de desempenho do processo e da organização, além do não monitoramento. Com isso, a confiabilidade e integridade de ativos e a segurança dos processos da planta não foram garantidas, facilitando a recorrência de cenários acidentais.

Em linhas gerais, com este e os demais elementos do RBPS bem desenvolvidos e implantados dentro da indústria, a empresa, tendo seus riscos inerentes à instalação identificados, é capaz de definir quais tipos de indicadores devem ser considerados para cada etapa do processo. Além disso, é importante que se defina com que frequência estes têm de coletar os dados solicitados. Assim, considerando os diferentes *outputs* dos indicadores, a companhia deve definir quais tarefas devem ser realizadas de modo que a operação da planta se mantenha eficaz e dentro dos padrões de segurança impostos pelo sistema de gestão implementado.

Além da importância desse elemento em relação à segurança de processos, sua atuação é relevante na redução de custos da companhia. Com este elemento bem implementado, as respostas dos indicadores e monitoramentos permitem que a empresa tome as medidas mais eficientes para manutenção do sistema de gestão. Assim, os gastos com treinamento de pessoal e manutenção e inspeção de seus ativos são otimizados. Dessa forma, caso a Union Carbide houvesse desenvolvido corretamente essas atividades supracitadas na planta de Bhopal, a efetividade das suas operações seria mantida. Inclusive, a redução dos custos provenientes da redução da demanda do pesticida seria mitigada com a manutenção da eficiência das operações da instalação industrial.

Os dois tipos de indicadores mais utilizados na indústria química, geralmente, são o *lagging indicator* – indicador reativo – e o *leading indicator* – indicador proativo. O indicador reativo é aquele que mede acidentes ou incidentes que já ocorreram como, por exemplo, o número de pequenos vazamentos em tubulações ao longo dos três últimos anos, como aconteceu em Bhopal. Então, este se trata de um indicador da performance passada da empresa que seria de grande utilidade para a Union Carbide evidenciar problemas e buscar melhorias. Já o indicador proativo expressa uma medição preditiva como, por exemplo, a taxa de operadores que usam corretamente todos os equipamentos de segurança necessários. Então, este se trata de um indicador que, basicamente, prevê o sucesso futuro do sistema de gestão da empresa frente a uma situação de risco ao medir o desempenho das principais atividades e equipamentos capazes de evitar ou mitigar acidentes e incidentes.

Ademais, com os equipamentos e as atividades de monitoramento de processo implementados, é responsabilidade da empresa garantir e, frequentemente, checar se estes indicadores estão fidedignos, assegurando a constante utilização e atualização das métricas criadas. Dessa forma, a companhia evita que suas fraquezas sejam explicitadas por meio de

acidentes, e sim por indicadores. Então, a partir deste constante monitoramento, é possível criar melhorias para o processo e para todos os outros elementos do seu sistema de gerenciamento de segurança de processos, garantindo a melhoria contínua. (CCPS, 2014)

### **3.6.3 Auditorias**

O elemento de auditoria tem seu principal objetivo em criar relatórios que avaliem criticamente o sistema de gerenciamento de segurança de processos implantado na empresa, sendo um complemento de todos aqueles elementos que pregam por um eficiente controle e monitoramento de suas atividades. (CCPS, 2014) Este elemento possui forte correlação com o elemento Conformidade com Padrões e Normas, já que a auditoria é feita para garantir que as atividades estão dentro desses padrões.

Para que o objetivo requerido seja alcançado, este elemento também se baseia na implementação de um sistema dentro da empresa que seja coordenado por pessoas competentes na área, capazes de agendar auditorias periodicamente, executá-las com qualidade e documentar as avaliações feitas de todos os elementos do RBPS. Em adição às avaliações, este elemento também é responsável por implementar um gerenciamento dos resultados e descobertas decorrentes das avaliações e das ações corretivas que devem ser implementadas. (CCPS, 2014)

Em Bhopal, o sistema de gerenciamento de segurança de processos era falho, conforme todos os fatos aqui apresentados. Um dos motivos do não eficiente sistema de segurança de processos foi a não realização de auditorias e melhorias periódicas. Mesmo que a UCC mostre documentos que tentem comprovar a existência de ações corretivas na planta, a realidade vivenciada nos anos anteriores ao acidente mostra o contrário. Assim, o sistema de gestão da empresa se estagnou uma vez que não era continuamente auditado, avaliado e corrigido. As falhas recorrentes na planta da Union Carbide foram muito maiores do que, por exemplo, a existência de válvulas quebradas. Essas falhas podem ser evidenciadas na negligência da empresa e no falho gerenciamento da planta, que não tinha o hábito de identificar problemas e propor e aplicar melhorias de processo que garantissem a sua segurança.

Em um contexto geral, para que este elemento assegure a eficiência do sistema de gestão da empresa, é preciso que os relatórios das avaliações sejam detalhados suficientemente, sempre abordando aspectos do sistema de gerenciamento de segurança de

processos. Da mesma forma que este elemento audita e monitora atividades dos outros elementos, é fundamental que a área de auditoria da empresa também seja monitorada, testada e treinada para que se obtenha os melhores resultados possíveis. (CCPS, 2014) As atividades iniciais deste elemento não foram desenvolvidas e implementadas em Bhopal. Por consequência, as atividades de detalhamento dos relatórios e monitoramento da capacidade daqueles que auditam não puderam ser percebidas.

### **3.6.4 Avaliação da Gestão e Melhoria Contínua**

Muito similar ao elemento anterior, este último item da estrutura RBPS busca implementar uma avaliação que explicita a performance, eficiência e efetividade dos sistemas de gestão da empresa como um todo, avaliando se os mesmos estão desempenhando seu papel com excelência e gerando resultados como o esperado quando implementados. Assim, seguindo a mesma linha da auditoria, este elemento busca implantar um sistema formado por pessoas competentes, capazes de agendar avaliações periódicas e criar relatórios sobre a eficácia de todos os elementos do RBPS, não apenas das atividades que, de fato, são implementadas por eles. Dessa forma, com os resultados das avaliações, a equipe formada prepara projetos e planos para uma melhoria do sistema em questão, garantindo uma cultura de melhoria contínua dentro da organização. (CCPS, 2014)

Vale ressaltar a forte correlação deste elemento com o elemento Indicadores e Monitoramento. As avaliações, relatórios e atividades de melhorias propostas são feitos com total eficiência quando os indicadores de desempenho monitoram com a eficácia e a frequência necessárias. Assim, o *outputs* dos indicadores são usados como *inputs* para o setor de avaliação da gestão e melhoria contínua, beneficiando as atividades de segurança de processos da planta e as demais atividades operacionais também, sempre respeitando os padrões, normas e o meio ambiente.

Como pode-se perceber ao longo do estudo, essa não era uma cultura fortemente implementada nas áreas industriais de Bhopal. Ao menos, não foram encontrados registros e documentações que comprovassem a existência de atividades da Union Carbide que buscassem melhorias continuamente, sem que a necessidade por melhorias pontuais existisse. Tão importante quanto documentar as avaliações e mantê-las em registros, seria sempre compartilhar, tanto com seus colaboradores quanto externamente, os resultados destas avaliações e inspeções de campo feitas pelos especialistas.



Deste modo, com uma apresentação bem feita a todas as áreas da companhia, seria interessante reforçar os pontos positivos, sempre corroborando a ideia e importância de manter a disciplina para que os acertos continuassem. Além dos acertos, seria fundamental explicitar os erros, juntamente com os projetos de melhoria a ser implementados a fim de corrigi-los. Assim, a UCC garantiria seu compromisso não apenas com o apontamento dos erros, mas, principalmente, com a retificação dos mesmos. Com isso, a tendência seria que todos os problemas e falhas aqui apresentados nos outros elementos do RBPS e na companhia em geral fossem reduzidos e corrigidos prontamente.

#### 4. CONCLUSÃO

Diante de todas as situações e acontecimentos explicitados e estudados ao longo do trabalho, algumas conclusões acerca do acidente e de seus eventos iniciadores podem ser alcançadas. Primeiramente, vale destacar que as duas principais conclusões para evento iniciador do acidente que foram amplamente divulgadas e discutidas ao longo do trabalho não foram tão convincentes. Uma delas foi uma lavagem inadequada de uma *sub-header* da RVVH da unidade produtora do pesticida Sevin. A outra foi a adição deliberada de água no tanque a partir de uma mangueira que um operador insatisfeito teria conectado ao tanque com o intuito de sabotar a planta.

Para que a teoria de que água proveniente da lavagem de filtros da RVVH foi o evento iniciador do acidente seja verídica, cerca de 500kg de água precisariam alcançar o tanque. Além disso, essa água deveria percorrer um longo caminho de mais de 120 metros de tubulação. Cálculos feitos pela Union Carbide mostraram que isso não seria possível, enquanto que os investigadores adeptos dessa teoria não apresentaram cálculos conclusivos. Assim, apenas descredibilizavam os cálculos feitos pela UCC, já que as premissas feitas consideravam que todas as válvulas estavam em pleno funcionamento, enquanto que históricos da planta mostravam o contrário.

Por outro lado, para que a teoria de sabotagem seja verídica, era necessário garantir que o operador tivesse um alto conhecimento das tubulações ao redor dos tanques de armazenagem. Assim, a remoção do indicador de pressão, o acoplamento da mangueira de água e a recolocação dos encaixes da tubulação seria feito minimizando qualquer evidência que comprovasse uma suposta sabotagem. No entanto, os fatos citados não mostraram altas qualificações e total conhecimento dos processos e equipamentos por parte dos operadores.

Assim, devido às controvérsias dessas duas teorias e conforme as discussões ao longo do trabalho, pode-se concluir que negligências e falhas no sistema de gestão de segurança de processos foram os principais eventos iniciadores do acidente. As falhas em atividades e a não realização de necessárias e importantes tarefas relacionadas à segurança das operações da planta impactaram significativamente processos e áreas que seriam primordiais para o não acontecimento ou mitigação do acidente. Vale ressaltar a negligência da empresa uma vez que esses eventos foram evidentes nos dias, meses e anos anteriores à tragédia de Bhopal. Inclusive, antes mesmo das reduções de custos proporcionadas por uma redução de demanda do pesticida e pressão governamental por continuação das operações.

Em linhas gerais, conclui-se que a planta de Bhopal era, raramente, otimizada e melhorada pensando na segurança do processo e de todas as partes envolvidas. A existência de um eficaz sistema de gerenciamento de segurança de processos, com monitoramento consistente parecia ser uma utopia no cenário dessa instalação. Com isso, problemas e melhorias eram negligenciados, equipamentos iam se depreciando, atividades retificadoras não eram implementadas, conhecimentos iam ficando desatualizados etc. Em outros termos, a cultura da melhoria contínua era inexistente e a eficiência dos sistemas de segurança para acidentes maiores era ínfima, contribuindo fortemente para o desenrolar do maior acidente da indústria química.

Todavia, por se tratar de uma planta que mobilizou a cidade inteira, pode-se concluir que a negligência e irresponsabilidade do governo local também impactaram para o desenvolvimento do cenário accidental. Exemplificando essa irresponsabilidade, tem-se a manutenção de diversos produtos químicos espalhados pela planta anos após o acidente. Com isso, significativos problemas ambientais e de saúde permearam por anos após o vazamento.

Se houver alguma possibilidade de enxergar pontos positivos desse acidente, foram os aprendizados que a indústria química teve e passou a disseminar. O vazamento da planta da UCC em Bhopal permitiu, por meio de um exemplo a não ser seguido, a propagação de melhores práticas de segurança de processos. Através do AIChE, foi criado o Centro de Segurança de Processos Químicos – CCPS – que ficou encarregado da criação e dissipação de diretrizes que padronizassem os sistemas de gerenciamento de segurança de processos. Dessa forma, o RBPS, criado pelo CCPS, foi adquirindo relevância no cenário da indústria química, sendo cada vez mais respeitado e seguido pelas mais diversas empresas. Assim, a alta eficácia na segurança de processos e no seu gerenciamento passou a ser valorizado pelas instituições.

Vale destacar também um outro exemplo de aprendizado das empresas de atividades industriais com a experiência de Bhopal. Após essa tragédia, muitas outras empresas reduziram seus estoques de intermediários perigosos ou administraram seus processos produtivos sem eles, usando os intermediários assim que fossem produzidos. Com isso, os perigos e severidades de incidentes e acidentes são reduzidos drasticamente. Por fim, com a demanda das empresas e da sociedade em geral por altos padrões de qualidade em segurança de processos, percebe-se que princípios fundamentais de segurança de processos estão cada vez mais enraizados em praticamente todos os engenheiros químicos e empresas do setor.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIROIL FLAREGAS. **Knock Out Drums**. 2019. Disponível em:

<https://www.airoilflaregas.com/pdf/KnockOutDrums.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

AZEVEDO, Julia Pinto A. **LOPA**. Rio de Janeiro: Julia Pinto A. Azevedo, 2019. 29 slides, color.

AYRES, Robert U.; ROHATGI, Pradeep K. Bhopal. **Technology In Society**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 19-45, jan. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0160-791x\(87\)90028-5](http://dx.doi.org/10.1016/0160-791x(87)90028-5).

Bhopal Municipal Corporation. **City Information**. 2020. Disponível em:

<http://www.bhopalmunicipal.com/city-information/about-bhopal.html>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BOWONDER, B. An analysis of the Bhopal accident. **Project Appraisal**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 157-168, set. 1987. Informa UK Limited.

BROWNING, Jackson B. **Union Carbide: Disaster at Bhopal**. Retired Vice President, Health, Safety and Environmental Programs Union Carbide Corporation. 1993.

CARVALHO NETO, A.D. Tridimensional Training Matrix Improving Process Safety Performance. In: CCPS GLOBAL CONGRESS ON PROCESS SAFETY, 13th, 2017, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: Rse, 2017. v. 1, p. 2-10. Disponível em: <https://www.rsem.com.br/tridimensional-training-matrix-improving-process-safety-performance/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **History**. 2020. Elaborado por American Institute of Chemical Engineers. Disponível em: <https://www.aiche.org/ccps/history>. Acesso em: 30 maio 2020.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Defining Process Safety Competency Requirements**. New York: CCPS, 2015.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for Risk Based Process Safety**. New Jersey: Wiley-Interscience, 2007.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for Risk Based Process Safety Overview**. New York: CCPS, 2014.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Process Safety Leading and Lagging Metrics**. You Don't Improve What You Don't Measure. New York: CCPS, 2011.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Risco de Acidente de Origem Tecnológico: Método para decisão de termos de referência**. São Paulo, 2011. NT P4261. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4261-revisada.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2020.

Documentary The Bophal Disaster INDIA 2015. Webinar apresentado por Nat Geo Full Documentary. Wins Naron, 13/02/2015. 1 vídeo (1h 01min 59seg). Publicado pelo canal Wins Naron. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HsuUQzhP2Ds>. Acesso em: 02 jun. 2020.

EMILIANO CHEMELLO. **Acidentes Explicados pela Ciência**: Desastre em Bhopal. Setembro de 2010. Disponível em: <http://www.quimica.net/emiliano/artigos/2010setembro-bhopal.pdf>. Acesso em 15 jan. 2020.

EUA. U.S. DEPARTMENT OF LABOR. **All About OSHA**: Occupational Safety and Health Administration. Washington D.C.: Osha, 2020. 36 p. Disponível em: [https://www.osha.gov/Publications/all\\_about\\_OSHA.pdf](https://www.osha.gov/Publications/all_about_OSHA.pdf). Acesso em: 11 out. 2020.

EXCLUSIVE CHEMISTRY LTD. **New approach to synthesis of insecticide Sevin**. 2004-2020. Disponível em: <https://exchemistry.com/sevin.html>. Acesso em: 03 abr. 2020.

HERRERA, Miguel Angel de La O *et al.* Análise de Risco: Estado da Arte da Metodologia Hazop Generalizada, Aplicações e Perspectivas na Indústria de Processos. **Visa em Debate**: Sociedade, Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 2, n. 6, p. 106-121, 05 fev. 2018.

HOCK, Winand K. Sevin: A Controversial Insecticide. **Journal Of Arboriculture**. Pennsylvania, p. 47-49. fev. 1982.

J.ORG.CHEM. Studies of Methyl Isocyanate Chemistry in the Bhopal incident. 1986,51, 3781-3788. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jo00370a007>. Acesso em 15/01/2020.

KALELKAR, Ashok S.; LITTLE, Arthur D. **Investigation of large-magnitude incidents: bhopal as a case study**. Cambridge, Massachusetts, USA. Presented At The Institution of Chemical Engineers Conference On Preventing Major Chemical Accidents. London, England. Maio 1988.

KLETZ, Trevor. Accident investigation: keep asking "why?" **Hazardous Materials**. Texas, p. 69-75. 11 jul. 2005.

METLINE INDUSTRIES. **Spectacle Blind Flanges Manufacturers**: spectacle blind flanges manufacturers & suppliers. Spectacle Blind Flanges Manufacturers & Suppliers. 2018. Disponível em: <https://www.themetalsfactory.com/product/pipe-flanges/spectacle-blind-flange/spectacle-blind-flanges-manufacturers/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

NOAA. U.S Department Of Commerce. **Methyl Isocyanate**. 1999. Disponível em: <https://cameochemicals.noaa.gov/chris/MIS.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

One Night In Bhopal 2004 TVRip d0x. [S.I]: Bbc, 2012. (53 min.), son., color. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=rJg19W8x\\_Ls](https://www.youtube.com/watch?v=rJg19W8x_Ls). Acesso em: 31 dez. 2012. Acesso em 18 mar. 2020.

Resolução CEPRAM - Conselho Estadual de Proteção ao Meio Ambiente, Nº 4578. **Programa de Gerenciamento de Riscos**. BA, 29/09/2017. Disponível em:

[http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/4548/RE SOLUCAO\\_N\\_4.578\\_DE\\_29\\_DE\\_SETEMBRO\\_DE\\_2017.pdf](http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/4548/RE SOLUCAO_N_4.578_DE_29_DE_SETEMBRO_DE_2017.pdf). Acesso em: 20 mai. 2020.

SUTTON IAN. **Alarp (As Low as Reasonably Practicable) Risk**: Determining acceptable risk for industrial facilities. Disponível em: <https://suttonbooks.wordpress.com/article/alarp-as-low-as-reasonably-practicable-2vu500dgllb4m-10/>. Acesso em: 24 mai. 2020.

Synthesis of Carbaryl (Bhopal Gas Tragedy). Apresentado por ENGINEERING CHEMISTRY. [S.I.: s.n.] 2018. 1 vídeo (3min 24seg). Publicado pelo canal ENGINEERING CHEMISTRY. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=qhJ\\_QzGi5uU](https://www.youtube.com/watch?v=qhJ_QzGi5uU). Acesso em: 14/04/2020.

UNION CARBIDE CORPORATION. **Bhopal Gas Tragedy Information**. 2019. Disponível em: <http://www.bhopal.com/>. Acesso em: 03 jan. 2020.

VAZ JÚNIOR, Carlos André. **Análise e Gerenciamento de Risco**. Rio de Janeiro: Carlos André Vaz Júnior, 2019. 106 slides, color.

Webinar RSE - Gerenciamento de Mudanças 20/05/2020. Webinar apresentado por Américo Diniz Carvalho Neto. Bahia, RSE, 20/05/2020. 1 vídeo (1h 16min 35seg). Publicado pelo canal RSE Consultoria. Disponível em: [https://youtu.be/xl\\_kY7ocyhY](https://youtu.be/xl_kY7ocyhY). Acesso em: 02/06/2020

Webinar RSE - Indicadores de Segurança de Processo. Webinar apresentado por Américo Diniz Carvalho Neto. Bahia, RSE, Junho/2020. 1 vídeo (1h 14min 17seg). Publicado pelo canal RSE Consultoria. Disponível em: <https://youtu.be/FhmQphEga3I>. Acesso em: 20/06/2020

Webinar RSE – Matriz Tridimensional de Competência. Webinar apresentado por Américo Diniz Carvalho Neto. Bahia, RSE, Abril/2020. 1 vídeo (1h 16min 14seg). Publicado pelo canal RSE Consultoria. Disponível em: <https://youtu.be/UJ53oXRDlQE>. Acesso em: 22/06/2020

Webinar RSE – HAZOP e LOPA em modo remoto. Webinar apresentado por Américo Diniz Carvalho Neto. Bahia, RSE, 08/04/2020. 1 vídeo (1h 17min 50seg). Publicado pelo canal RSE Consultoria. Disponível em: <https://youtu.be/WQA2wGDBBiI>. Acesso em: 18/06/2020

WILLEY, Ronald J.; HENDERSHOT, Dennis C. The Accident in Bhopal: Observations 20 Years Later. In: ANNUAL LOSS PREVENTION SYMPOSIUM, 40., 2006, New York. **Anais [...]**. Orlando: Aiche, 2006. p. 3-14. Disponível em: <https://repository.library.northeastern.edu/files/neu:378468/fulltext.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

## **ANEXOS**

## **Anexo I – Especificações Metil Isocianato – CAMEO Chemicals**



# METHYL ISOCYANATE

MIS

## CAUTIONARY RESPONSE INFORMATION

<b>Common Synonyms</b> Isocyanatomethane Isocyanic acid, methyl ester Methane, isocyanato- Methyl carbonimide MIC	Liquid  Colorless  Sharp, unpleasant odor
Floats; slowly mixes and slowly reacts with water at 20°C.	
<b>KEEP PEOPLE AWAY. AVOID CONTACT WITH LIQUID AND VAPOR. EVACUATE AREA.</b> Wear chemical protective suit with self-contained breathing apparatus. Shut off ignition sources and call fire department. Stay upwind and use water spray to "knock down" vapor. Notify local health and pollution control agencies.	
<b>Fire</b>	FLAMMABLE. POISONOUS GASES/VAPORS ARE PRODUCED IN FIRE. Containers may explode in fire. Flashback along vapor trail may occur. Vapor may explode if ignited in an enclosed area. WEAR CHEMICAL PROTECTIVE SUIT WITH SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS. Extinguish small fires: dry chemical, CO <sub>2</sub> , water spray or foam; large fires: water spray, fog or foam. Combat fires from safe distance or protected location. Cool exposed containers with water.
<b>Exposure</b>	CALL FOR MEDICAL AID.  VAPOR POISONOUS IF INHALED OR IF SKIN EXPOSED. May cause fatal pulmonary edema. Respiratory distress cited for most deaths. Severely irritating to eyes. Move to fresh air. If breathing has stopped, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Liquid POISONOUS IF SWALLOWED OR IF SKIN EXPOSED. Causes eye injury and skin burns. Remove contaminated clothing and shoes. Flush affected areas with plenty of running water for at least 15 minutes. IF IN EYES, hold eyelids open and flush with plenty of running water. IF SWALLOWED and victim is CONSCIOUS, have victim drink a large quantity of water and induce vomiting. IF SWALLOWED and victim is UNCONSCIOUS OR HAVING CONVULSIONS, do nothing except keep victim warm.
<b>Water Pollution</b>	Effect of low concentrations on aquatic life is unknown. May be dangerous if it enters water intakes. Notify local health and wildlife officials. Notify operators of nearby water intakes.

<b>1. CORRECTIVE RESPONSE ACTIONS</b> Stop discharge	<b>2. CHEMICAL DESIGNATIONS</b> 2.1 CG Compatibility Group: Not listed. 2.2 Formula: CHNCO 2.3 IMO/UN Designation: 3.2/2480 2.4 DOT ID No.: 2480 2.5 CAS Registry No.: 624-83-9 2.6 NAERG Guide No.: 155 2.7 Standard Industrial Trade Classification: 51489
<b>3. HEALTH HAZARDS</b> 3.1 <b>Personal Protective Equipment:</b> Positive pressure breathing apparatus and special protective clothing. 3.2 <b>Symptoms Following Exposure:</b> Poisonous; may be fatal if inhaled. Experimental exposure of four human subjects for 1 to 5 minutes to: 0.4 ppm - no effects; 2 ppm - irritation of nose and throat; 4 ppm - irritation more marked; 21 ppm - unbearable irritation of nose and throat. High concentrations can cause burning sensations in the nose and throat, coughing, dyspnea (difficult or painful breathing, gasping for breath), increased secretions, lung injury and subsequent pulmonary edema and uncontrollable vomiting. Most deaths (Bhopal, India, 1984) have been attributed to various forms of respiratory distress such as massive accumulation of fluid in the lungs or spasmodic contractions of the bronchial tubes. 3.3 <b>Treatment of Exposure:</b> INHALATION: Move victim to fresh air; call emergency medical care. If not breathing, give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen. Remove and isolate contaminated clothing and shoea at the site. EYES AND SKIN: Immediately flush eyes or skin with running water for at least 15 minutes, hold eyelids open occasionally, if appropriate. INGESTION: IF CONSCIOUS, give victim large quantities of water and induce vomiting by having victim touch the back of his throat. IF UNCONSCIOUS, do nothing except keep victim quiet and maintain normal body temperature. Effects may be delayed; keep victim under observation. 3.4 TLV-TWA: 0.02 ppm 3.5 TLV-STEL: Not listed. 3.6 TLV-Ceiling: Not listed. 3.7 Toxicity by Ingestion: Grade 3; LD <sub>50</sub> = 71 mg/kg (rat) 3.8 Toxicity by Inhalation: Currently not available. 3.9 <b>Chronic Toxicity:</b> Susceptible individuals may become sensitized so that subsequent exposure to extremely low concentrations provoke true asthma attacks. Cross sensitization to other isocyanates could also occur. 3.10 <b>Vapor (Gas) Irritant Characteristics:</b> Vapors cause severe irritation of eyes and throat and can cause eye and lung injury. They cannot be tolerated even at low concentrations. 3.11 <b>Liquid or Solid Characteristics:</b> Severe skin irritant. Causes second and third-degree burns on short contact and is very injurious to the eyes. 3.12 <b>Odor Threshold:</b> Currently not available 3.13 IDLH Value: 3 ppm 3.14 OSHA PEL-TWA: 0.02 ppm 3.15 OSHA PEL-STEL: Not listed. 3.16 OSHA PEL-Ceiling: Not listed. 3.17 EPA AEG1: Not listed	

## 4. FIRE HAZARDS

- 4.1 **Flash Point:** Currently not available
- 4.2 **Flammable Limits in Air:** 5.3% - 26%
- 4.3 **Fire Extinguishing Agents:** Small fires: dry chemical, CO<sub>2</sub>, water spray or foam; large fires: water spray, fog or foam.
- 4.4 **Fire Extinguishing Agents Not to Be Used:** Not pertinent
- 4.5 **Special Hazards of Combustion Products:** Contain toxic and irritating gases, including HCN and NO<sub>x</sub>.
- 4.6 **Behavior in Fire:** Very flammable; may be ignited by heat, sparks or flames. May travel to a source of ignition and flashback. Container may explode violently.
- 4.7 **Auto Ignition Temperature:** 995°F.
- 4.8 **Electrical Hazards:** Currently not available
- 4.9 **Burning Rate:** Currently not available
- 4.10 **Adiabatic Flame Temperature:** Currently not available
- 4.11 **Stoichiometric Air to Fuel Ratio:** 15.5 (calc.)
- 4.12 **Flame Temperature:** Currently not available
- 4.13 **Combustion Molar Ratio (Reactant to Product):** 4.5 (calc.)
- 4.14 **Minimum Oxygen Concentration for Combustion (MOCC):** Not listed

## 5. CHEMICAL REACTIVITY

- 5.1 **Reactivity with Water:** Reacts slowly with water at room temperature (20°C) to produce gaseous CO<sub>2</sub>, methylamine (b.p. -6°C), and heat (about 585 Btu per lb of methyl isocyanate or about 3,700 Btu per lb of water). Resulting pressure increase may cause relief valves to open. Acids, alkalies and amides accelerate the reaction. Reactivity accelerates as temperature rises.
- 5.2 **Reactivity with Common Materials:** Avoid contact with all metals other than stainless steel and nickel. The metals may catalyze polymerization reactions. The heat of reaction can cause the trimerization to occur with explosive violence. Also attacks some plastics, rubber and coatings. Glass-lined containers (no pinholes) and fluorocarbon resin-lined transfer hoses are acceptable.
- 5.3 **Stability During Transport:** Drums may be stored at ambient temperatures out of direct sun. Keep as cool as practical and away from sources of heat, sparks, or flames. Protected from all contaminants. Cool bulk quantities to about 0°C.
- 5.4 **Neutralizing Agents for Acids and Caustics:** Caustic soda
- 5.5 **Polymerization:** Pure methyl isocyanate polymerizes spontaneously. Commercial product requires only heat or a trace of catalyst to initiate a potentially violent reaction.
- 5.6 **Inhibitor of Polymerization:** No inhibitor identified as such. Residual trace phosgene from production inhibits polymerization and reaction with water.

## 6. WATER POLLUTION

- 6.1 **Aquatic Toxicity:** Currently not available
- 6.2 **Waterfowl Toxicity:** Currently not available
- 6.3 **Biological Oxygen Demand (BOD):** Currently not available
- 6.4 **Food Chain Concentration Potential:** Not pertinent
- 6.5 **GESAMP Hazard Profile:**  
Bioaccumulation: 0  
Damage to living resources: -  
Human Oral hazard: 2  
Human Contact hazard: II  
Reduction of amenities: XXX

## 7. SHIPPING INFORMATION

- 7.1 **Grades of Purity:** Commercial (99%)
- 7.2 **Storage Temperature:** It is recommended that bulk quantities be cooled to approximately 0°C. Drums may be stored at ambient temperature out of direct sunlight. Storage temperature should not exceed 30°C.
- 7.3 **Inert Atmosphere:** Must be protected by a dry nitrogen (dew point -40°C. or lower) atmosphere.
- 7.4 **Venting:** Not listed
- 7.5 **IMO Pollution Category:** Currently not available
- 7.6 **Ship Type:** Currently not available
- 7.7 **Barge Hull Type:** Currently not available

## 8. HAZARD CLASSIFICATIONS

- 8.1 49 CFR Category: Poison
- 8.2 49 CFR Class: 6.1
- 8.3 49 CFR Package Group: I
- 8.4 Marine Pollutant: No
- 8.5 NFPA Hazard Classification: Not listed
- 8.6 EPA Reportable Quantity: 10 pounds
- 8.7 EPA Pollution Category: A
- 8.8 RCRA Waste Number: P064
- 8.9 EPA FWPCA List: Not listed

## 9. PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

- 9.1 Physical State at 15° C and 1 atm: Liquid
- 9.2 Molecular Weight: 57.05
- 9.3 Boiling Point at 1 atm: 102.4°F. = 39.1°C. = 312.3°K
- 9.4 Freezing Point: <-112°F. = <-80°C. = <193°K.
- 9.5 Critical Temperature: 424°F. = 218°C. = 491°K.
- 9.6 Critical Pressure: 808 psia = 55 atm = 5.6 MN/m<sup>2</sup>
- 9.7 Specific Gravity: 0.9599 at 20°C. (liquid)
- 9.8 Liquid Surface Tension: Currently not available
- 9.9 Liquid Water Interfacial Tension: Currently not available
- 9.10 Vapor (Gas) Specific Gravity: 2.0
- 9.11 Ratio of Specific Heats of Vapor (Gas): Currently not available
- 9.12 Latent Heat of Vaporization: 223 Btu/lb = 124 cal/g = 5.19 X 10<sup>5</sup> J/kg
- 9.13 Heat of Combustion: 8,041 Btu/lb = 4,467 cal/g = 1.87 X 10<sup>7</sup> J/kg
- 9.14 Heat of Decomposition: Not pertinent
- 9.15 Heat of Solution: Not pertinent
- 9.16 Heat of Polymerization: -540 Btu/lb = -300 cal/g = -12.56 X 10<sup>5</sup> J/kg
- 9.17 Heat of Fusion: Currently not available
- 9.18 Limiting Value: Currently not available
- 9.19 Reid Vapor Pressure: Currently not available

NOTES

# METHYL ISOCYANATE

MIS

9.20 SATURATED LIQUID DENSITY		9.21 LIQUID HEAT CAPACITY		9.22 LIQUID THERMAL CONDUCTIVITY		9.23 LIQUID VISCOSITY	
Temperature (degrees F)	Pounds per cubic foot	Temperature (degrees F)	British thermal unit per pound-F	Temperature (degrees F)	British thermal unit inch per hour-square foot-F	Temperature (degrees F)	Centipoise
68	59.800		C U R R E N T L Y  N O T  A V A I L A B L E		C U R R E N T L Y  N O T  A V A I L A B L E		C U R R E N T L Y  N O T  A V A I L A B L E

9.24 SOLUBILITY IN WATER		9.25 SATURATED VAPOR PRESSURE		9.26 SATURATED VAPOR DENSITY		9.27 IDEAL GAS HEAT CAPACITY	
Temperature (degrees F)	Pounds per 100 pounds of water	Temperature (degrees F)	Pounds per square inch	Temperature (degrees F)	Pounds per cubic foot	Temperature (degrees F)	British thermal unit per pound-F
	R E A C T S  S L O W L Y	68	6.730	68	0.06800		C U R R E N T L Y  N O T  A V A I L A B L E